



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

## ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

## VÝROBNÍ HALA

PRODUCTION HALL

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE:

AUTHOR

Adam Paroulek

VEDOUCÍ PRÁCE:

SUPERVISOR

Ing. KAREL SÝKORA

BRNO 2017



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

## FAKULTA STAVEBNÍ

<b>Studijní program</b>	B3607 Stavební inženýrství
<b>Typ studijního programu</b>	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
<b>Studijní obor</b>	3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
<b>Pracoviště</b>	Ústav kovových a dřevěných konstrukcí

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>Student</b>	Adam Paroulek
<b>Název</b>	Výrobní hala
<b>Vedoucí práce</b>	Ing. Karel Sýkora
<b>Datum zadání</b>	30. 11. 2016
<b>Datum odevzdání</b>	26. 5. 2017

V Brně dne 30. 11. 2016

---

prof. Ing. Marcela Karmazínová, CSc.  
Vedoucí ústavu

---

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA  
Děkan Fakulty stavební VUT

## ABSTRAKT

Tato bakalářská práce obsahuje návrh a posouzení hlavních konstrukčních prvků jednolodní ocelové haly pro výrobu. Prostorové uspořádání haly je rozpětí 18 m, délka 63 m a výška haly je odpovídající skladebné výšce konzoly 12,3 m. Hlavním konstrukčním materiálem je ocel S235 a S355. V hale jsou umístěny dva mostové jeřáby, a to o nosnosti 32 t a 20 t.

## KLÍČOVÁ SLOVA

výrobní hala, vaznice, vazník, jeřábová dráha, sloup, patka

## ABSTRACT

This thesis contains design and assessment of main construction elements one-aisle steel production hall. Spatial arrangement of hall is span 18 m, length 63 m, and height of hall is corresponding to the height of a holder of a crane track girder 12,3 m. Main structural materials are steel S235 and S355. In the hall are two overhead cranes, the first one with load capacity of 32 tons, and the second one with load capacity of 20 tons.

## KEYWORDS

production hall, purlin, truss, crane track, column, mudsill

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Adam Paroulek *Výrobní hala*. Brno, 2017. 108 s., 40 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav kovových a dřevěných konstrukcí. Vedoucí práce Ing. Karel Sýkora

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 25. 5. 2017

---

Adam Paroulek  
autor práce

# PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 25. 5. 2017

---

Adam Paroulek  
autor práce

## POPISNÝ SOUBOR ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

**Vedoucí práce** Ing. Karel Sýkora  
**Autor práce** Adam Paroulek  
  
**Škola** Vysoké učení technické v Brně  
**Fakulta** Stavební  
**Ústav** Ústav kovových a dřevěných konstrukcí  
**Studijní obor** 3647R013 Konstrukce a dopravní stavby  
**Studijní program** B3607 Stavební inženýrství

**Název práce** Výrobní hala  
**Název práce v anglickém jazyce** Production hall  
**Typ práce** Bakalářská práce  
**Přidělovaný titul** Bc.  
**Jazyk práce** Čeština  
**Datový formát elektronické verze** PDF

**Abstrakt práce**  
**Abstrakt práce v anglickém jazyce**  
**Klíčová slova**  
**Klíčová slova v anglickém jazyce**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**STATICKÝ VÝPOČET OCELOVÉ HALY**



## OBSAH:

1. Úvod .....	- 12 -
2. Zatížení .....	- 13 -
2.1 Zatížení větrem .....	- 13 -
2.1.1 Základní rychlost větru .....	- 13 -
2.1.2 Charakteristická střední rychlost větru .....	- 13 -
2.1.3 Maximální dynamický tlak $q_p(z)$ .....	- 13 -
2.1.4 Stanovení součinitelů vnějšího tlaku .....	- 13 -
2.1.5 Stanovení součinitelů vnitřního tlaku: .....	- 15 -
2.1.6 Třecí síly .....	- 17 -
2.2 Zatížení sněhem .....	- 18 -
3. Střešní plášť .....	- 19 -
4. Vaznice .....	- 20 -
4.1 Zatížení .....	- 20 -
4.2 Vnitřní síly .....	- 21 -
4.2.1 MSP .....	- 21 -
4.3 Dimenzování: .....	- 22 -
4.3.1 Horní pás .....	- 22 -
4.3.2 Dolní pás: .....	- 26 -
4.3.4 Diagonála: .....	- 31 -
4.3.5 Spoje .....	- 33 -
5. Vazník .....	- 34 -
5.1 Geometrie .....	- 34 -
5.2 Zatížení .....	- 34 -
5.3 Vnitřní síly .....	- 35 -
5.3.1 Kombinace: .....	- 35 -
5.3.2 MSP .....	- 35 -
5.4 Dimenzování: .....	- 36 -
5.4.1 Horní pás .....	- 36 -
5.4.2 Dolní pás: .....	- 39 -
5.4.3 Diagonála B16 .....	- 41 -
5.4.4 Diagonála B14 .....	- 43 -
5.4.5 Posouzení přípoje diagonály na horní pás .....	- 45 -
6. Podélné ztužidlo .....	- 46 -
6.1 Geometrie .....	- 46 -

6.2 Zatížení.....	- 46 -
7. Příčná ztužidla .....	- 47 -
7.1 Geometrie:.....	- 47 -
7.2 Rozvržení sil.....	- 48 -
7.3 Dimenzování .....	- 50 -
7.3.1 Diagonála .....	- 50 -
7.3.2 Pás příčného ztužidla.....	- 51 -
7.3.3 Posouzení vaznic.....	- 54 -
7.3.4 Posouzení horního pásu vazníku .....	- 55 -
8. Okapové ztužidlo.....	- 56 -
8.1 Geometrie .....	- 56 -
8.2 Zatížení:.....	- 57 -
8.3 Dimenzování .....	- 57 -
9. Jeřábová dráha.....	- 61 -
9.1 Charakteristiky jeřábů .....	- 61 -
9.2 Zatížení.....	- 62 -
9.2.1 Stálé zatížení .....	- 62 -
9.2.2 Proměnné zatížení .....	- 62 -
9.2.3 Mimořádná zatížení.....	- 65 -
9.3 Skupiny zatížení .....	- 66 -
9.3.1 Účinky svislých tlaků kol obou jeřábů ve skupině zatížení č.1 .....	- 66 -
9.4 Kombinace zatížení .....	- 69 -
9.5 Dimenzování hlavního nosníku.....	- 70 -
9.6 Posouzení na únavu.....	- 78 -
9.7 Vodorovný výztužný nosník .....	- 79 -
9.7.1 Vodorovný pásový prut.....	- 79 -
9.7.2 Diagonály .....	- 82 -
9.7.3 Svislice .....	- 85 -
10. Příčná vazba .....	- 88 -
10.1 Geometrie .....	- 88 -
10.2 Zatížení.....	- 88 -
10.3 Dimenzování .....	- 91 -
10.3.1 Návrh a posouzení špičky sloupu.....	- 91 -
10.3.2 Návrh a posouzení dříku sloupu.....	- 95 -
10.4 Posouzení průhybu .....	- 96 -
11. Patka .....	- 97 -
11.1 Vnější zatížení .....	- 97 -
11.2 Návrh patky .....	- 97 -

12. Stěnové ztužidlo: .....	- 103 -
12.1 Geometrie .....	- 103 -
12.2 Zatížení .....	- 104 -
12.3 Dimenzování .....	- 104 -
12.3.1 Horní část stěnového ztužidla .....	- 104 -
12.3.2 Spodní část stěnového ztužidla .....	- 105 -
13. Seznam literatury .....	- 107 -
14. Seznam příloh .....	- 108 -

# 1.Úvod

Cílem bakalářské práce je navrhnout a posoudit hlavní konstrukční prvky jednolodní haly pro výrobu. Prostorové uspořádání haly je rozpětí 18 m, délka 63 m a výška haly je odpovídající skladebné výšce konzoly 12,3 m.



## 2. Zatížení

### 2.1 Zatížení větrem

Objekt je umístěn v oblasti Blansko.

Kategorie terénu III.

$$V_{b,0}=27,5m \cdot s^{-1}$$

#### 2.1.1 Základní rychlost větru

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot V_{b,0} = 1 \cdot 1 \cdot 27,5 = 27,5 m \cdot s^{-1}$$

$$c_{dir} = 1,0 - \text{směr větru}$$

$$c_{season} = 1,0 - \text{roční období}$$

#### 2.1.2 Charakteristická střední rychlost větru

$$v_m = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b(z) = 0,797 \cdot 1,0 \cdot 27,5 = 21,918 m \cdot s^{-1}$$

Součinitel drsnosti terénu:

$$z_{min} = 5 m$$

$$z_{max} = 200 m$$

$$z_0 = 0,3 - \text{tabulka 4.1}$$

$$c_0 = 1,0 - \text{vliv orografie}$$

$$k_r = 0,19 \cdot \left( \frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left( \frac{0,3}{0,05} \right)^{0,07} = 0,215$$

$$c_r = k_r \cdot \ln \left( \frac{z}{z_0} \right) = 0,19 \cdot \ln \left( \frac{19,935}{0,3} \right) = 0,797$$

#### 2.1.3 Maximální dynamický tlak $q_p(z)$

$$\rho = 1,25 kg \cdot m^{-3} - \text{doporučená hodnota}$$

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 21,918^2 = 300,250 \frac{kg}{m \cdot s^2}$$

$$c_e(z) = 2,1 - (\text{obrázek 4.2 v normě ČSN EN 1993 1-4})$$

$$q_p(z) = c_e(z) \cdot q_b = 2,1 \cdot 300,250 = 630,525 \frac{N}{m^2}$$

#### 2.1.4 Stanovení součinitelů vnějšího tlaku

##### 2.1.4.1 Směr větru na podélnou stěnu

Stěny:

$$b = 63,0 m; \quad d = 19,82 m; \quad h = 19,935 m$$

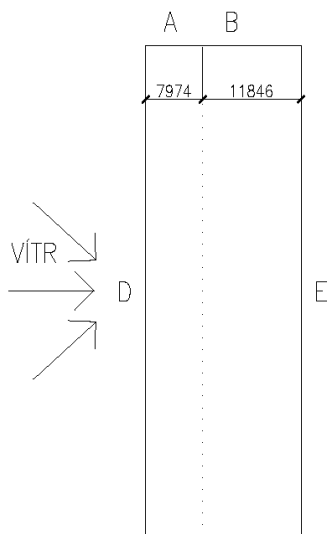
$$e = \min\{b; 2h\} = \min\{63; 2 \cdot 19,935\} = \min\{63; 39,87\} = 39,87 m$$

$$\frac{e}{5} = \frac{39,87}{5} = 7,974 m$$

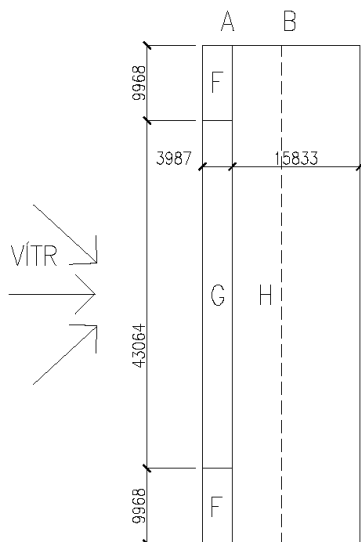
$$d - \frac{e}{5} = 18,2 - 7,974 = 11,846 m$$

$$\frac{h}{d} = \frac{19,935}{19,82} = 1,006$$

STĚNY



STŘECHA



Oblast:

A:  $c_{pe,10} = -1,2$

B: *Interpolace:*

5..... -0,8

1..... -1,4

$c_{pe,10} = -1,399$

C:  $c_{pe,10} = -0,5$

D: *Interpolace:*

5..... 0,8

1..... 0,8

$c_{pe,10} = 0,8$

E: *Interpolace:*

5..... -0,7

1..... -0,5

$c_{pe,10} = -0,500$

Střecha:

*Sklon střechy*

$\alpha = 8,3\% = 4,77^\circ < 5^\circ \rightarrow$  Plochá střecha

střešní plášť navržen panel Kingspan KS1000RW  $\rightarrow$  od  $4,00^\circ$

$b = 63,0 \text{ m};$   $d = 19,82 \text{ m};$   $h = 19,935 \text{ m}$

$e = \min(b; 2h) = \min\{63,0; 2 * 19,935\} = \min\{63,0; 39,87\} = 39,87 \text{ m}$

$$\frac{e}{10} = \frac{39,87}{10} = 3,987 \text{ m}$$

$$\frac{e}{4} = \frac{39,87}{4} = 9,968 \text{ m}$$

$$\frac{e}{2} = \frac{39,87}{2} = 19,935 \text{ m}$$

Typ střechy:

Ostré hrany

Oblast:

F:  $c_{pe,10} = -1,8$

G:  $c_{pe,10} = -1,2$

H:  $c_{pe,10} = -0,7$

I:  $c_{pe,10} = \pm 0,2$

2.1.4.2 Směr větru na čelní stěnu

Stěny:

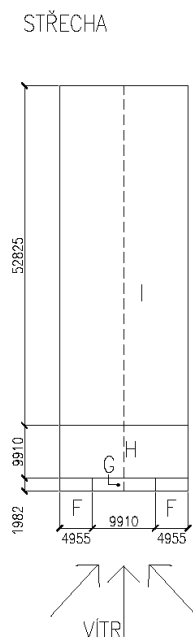
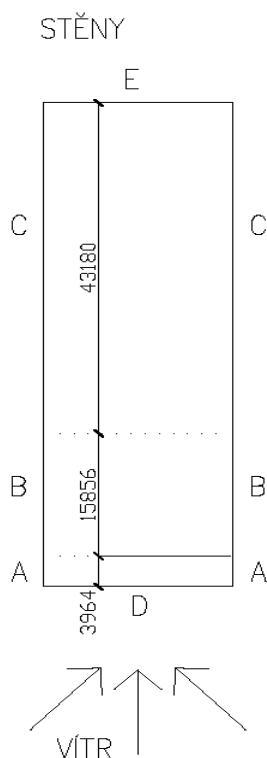
$d = 63,0 \text{ m};$   $b = 19,82 \text{ m};$   $h = 19,935 \text{ m}$

$e = \min\{b; 2h\} = \min\{19,82; 2 * 19,935\} = \min\{19,82; 39,87\} = 19,82 \text{ m}$

$$\frac{e}{5} = \frac{19,82}{5} = 3,964 \text{ m}$$

$$\frac{4}{5}e = \frac{4}{5} * 19,82 = 15,856 \text{ m}$$

$$d - e = 63,0 - 19,82 = 43,18 \text{ m}$$



Střecha:

$$d = 63,0 \text{ m}; \quad b = 19,82 \text{ m}; \quad h = 19,935$$

$$e = \min\{b; 2h\} = \min\{19,82; 2 * 19,935\} = \min\{19,82; 39,87\} = 19,82 \text{ m}$$

$$\frac{e}{4} = \frac{19,82}{4} = 4,955 \text{ m}$$

$$\frac{e}{10} = \frac{19,82}{10} = 1,982 \text{ m}$$

$$\frac{e}{2} = \frac{19,82}{2} = 9,910 \text{ m}$$

Tlak větru na vnější povrchy:

Oblast: A:  $w_e = q_p(z_e) * c_{pe,10} = 600,525 * (-1,2) = -720,630 \frac{N}{m^2}$

B:  $w_e = q_p(z_e) * c_{pe,10} = 600,525 * (-1,399) = -840,1344 \frac{N}{m^2}$

C:  $w_e = q_p(z_e) * c_{pe,10} = 600,525 * (-0,5) = -300,263 \frac{N}{m^2}$

D:  $w_e = q_p(z_e) * c_{pe,10} = 600,525 * (0,8) = 480,420 \frac{N}{m^2}$

E:  $w_e = q_p(z_e) * c_{pe,10} = 600,525 * (-0,5) = -300,263 \frac{N}{m^2}$

F:  $w_e = q_p(z_e) * c_{pe,10} = 600,525 * (-1,8) = -1080,945 \frac{N}{m^2}$

G:  $w_e = q_p(z_e) * c_{pe,10} = 600,525 * (-1,2) = -720,630 \frac{N}{m^2}$

H:  $w_e = q_p(z_e) * c_{pe,10} = 600,525 * (-0,7) = -420,368 \frac{N}{m^2}$

I:  $w_e = q_p(z_e) * c_{pe,10} = 600,525 * (\pm 0,2) = \pm 120,105 \frac{N}{m^2}$

## 2.1.5 Stanovení součinitelů vnitřního tlaku:

Referenční výšku pro vnitřní tlaky uvažují stejnou jako pro vnější tlaky.

$$q_p(z_e) = q_p(z_i) = q_p(z)$$

a) Pro směr větru na čelní stěnu

$$\frac{h}{d} = \frac{19,935}{19,82} = 1,006$$

→ Křivka  $\frac{h}{d} > 1,0$

→ Je-li otevřen jeden otvor na závětrné straně a všechny otvory na návětrné:

$$\mu = \frac{\Sigma \text{ ploch otvorů, kde je } c_{pe} \text{ záporné nebo } -0,0}{\Sigma \text{ ploch všech otvorů}} =$$

$$\mu = \frac{3,5 * 4,2}{2 * (3,5 * 4,2) + (7,0 * 6,0)} = 0,206$$

$$\mu = 0,206 \rightarrow c_{pi} = 0,35$$

$$w_i = q_p(z) * c_{pi} = 600,525 * 0,35 = 210,184 \frac{N}{m^2} \text{ (přetlak)}$$

→ Jsou-li otevřeny všechny otvory na závětrné straně a všechny otvory na návětrné:

$$\mu = \frac{\Sigma \text{ ploch otvorů, kde je } c_{pe} \text{ záporné nebo } -0,0}{\Sigma \text{ ploch všech otvorů}} =$$

$$\mu = \frac{2 * (3,5 * 4,2)}{2 * (3,5 * 4,2) + (7,0 * 6,0)} =$$

$$\mu = 0,411$$

$$\mu = 0,411 \rightarrow c_{pi} = 0,25$$

$$w_i = q_{p(z)} * c_{pi} = 600,525 * 0,25 = 150,131 \frac{N}{m^2} (\text{přetlak})$$

b) Pro směr větru na podélnou stěnu:

$$\frac{h}{d} = \frac{19,935}{63,0} = 0,316$$

→ Křivka  $\frac{h}{d} \leq 0,25$

→ Je-li otevřen jeden otvor na závětrné straně a všechny otvory na návětrné:

$$\mu = \frac{\Sigma \text{ ploch otvorů, kde je } c_{pe} \text{ záporné nebo } -0,0}{\Sigma \text{ ploch všech otvorů}} =$$

$$\mu = \frac{7,0 * 6,0}{2 * (3,5 * 4,2) + (7,0 * 6,0)} = 0,731$$

$$\mu = 0,731 \rightarrow c_{pi} = -0,18$$

$$w_i = q_{p(z)} * c_{pi} = 600,525 * (-0,18) = -108,095 \frac{N}{m^2} (\text{podtlak})$$



Tlak působící směrem na povrch uvažují jako kladný, sání od povrchu uvažují jako záporné.

Výsledný tlak je rozdíl mezi tlaky na opačných površích.

*Minima a maxima:*

$$\omega_{i,min} = -108,095 \frac{N}{m^2}$$

$$\omega_{i,max} = \max(210,184; 150,131) = 210,184 \frac{N}{m^2}$$

Tlak větru na vnitřní povrchy:

*Minima:*

*Oblast:*

$$\begin{aligned} A &= -720,630 - 210,184 = -930,814 \frac{N}{m^2} \\ B &= -840,134 - 210,184 = -1050,318 \frac{N}{m^2} \\ C &= -300,263 - 210,184 = -510,447 \frac{N}{m^2} \\ D &= 480,420 - 210,184 = 270,236 \frac{N}{m^2} \\ E &= -300,263 - 210,184 = -510,447 \frac{N}{m^2} \\ F &= -1080,945 - 210,184 = -1291,129 \frac{N}{m^2} \\ G &= -720,630 - 210,184 = -930,814 \frac{N}{m^2} \\ H &= -420,368 - 210,184 = -630,552 \frac{N}{m^2} \\ I &= -120,105 - 210,184 = -330,289 \frac{N}{m^2} \end{aligned}$$

*Maxima:*

*Oblast:*

$$\begin{aligned} A &= -720,630 - (-108,095) = -612,535 \frac{N}{m^2} \\ B &= -840,134 - (-108,095) = -732,039 \frac{N}{m^2} \\ C &= -300,263 - (-108,095) = -192,168 \frac{N}{m^2} \\ D &= 480,420 - (-108,095) = 588,515 \frac{N}{m^2} \\ E &= -300,263 - (-108,095) = -192,168 \frac{N}{m^2} \\ F &= -1080,945 - (-108,095) = -972,850 \frac{N}{m^2} \\ G &= -720,630 - (-108,095) = -612,535 \frac{N}{m^2} \\ H &= -420,368 - (-108,095) = -312,273 \frac{N}{m^2} \\ I &= 120,105 - (-108,095) = 228,200 \frac{N}{m^2} \end{aligned}$$

## 2.1.6 Třecí síly

### 2.1.6.1 Pro směr větru na podélnou stěnu

$$\begin{aligned} b &= 19,82m & d &= 63,0m & h &= 19,935m \\ z &= \min\{2b; 4h\} = \{2 * 19,82; 4 * 19,935\} = \{39,64; 79,74\} = 39,64m \\ c_{fr} &= 0,04 & & & & [\text{Tabulka 7.10 norma [xx]}] \end{aligned}$$

*Stěna:*

$$\begin{aligned} F_{fr} &= c_{fr} * q_p(z_e) * A_f = 0,04 * 600,525 * (23,36 * 18,7) = 10,493kN \\ &\rightarrow \text{Na jednu stranu.} \end{aligned}$$

*Střecha:*

$$\begin{aligned} F_{fr} &= c_{fr} * q_p(z_e) * A_f = 0,04 * 600,525 * (23,36 * 2 * 10,6) = 11,289kN \\ &\rightarrow \text{Na celou střechu.} \end{aligned}$$

### 2.1.6.2 Pro směr větru na čelní stěnu

$$b=63,0m$$

$$d=19,82m$$

$$h=19,935m$$

$$z = \min\{2b; 4h\} = \{2 * 63,0; 4 * 19,935\} = \{122; 79,74\} = 79,74m$$

→ Tření nevzniká.

## 2.2 Zatížení sněhem

Hala je umístěna do lokality Blansko, spadá do sněhové oblasti III.

$$S_k=1,5kPa$$

$$C_e= 1,0$$

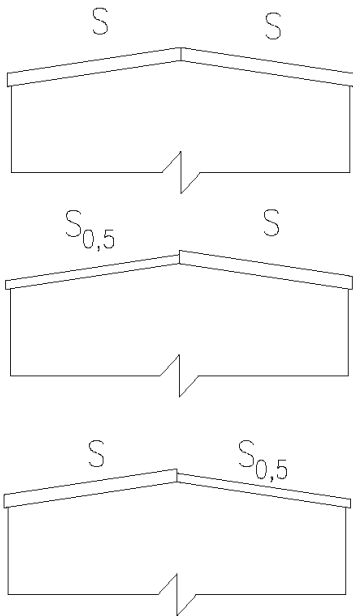
$$C_t= 1,0$$

$$\mu_1= 0,8$$

$$(0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ)$$

$$s = \mu_1 * C_e * C_t * S_k = 0,8 * 1,0 * 1,0 * 1,5 = 1,5 \frac{kN}{m^2}$$

$$s_{0,5} = \frac{s}{2} = \frac{1,5}{2} = 0,75 \frac{kN}{m^2}$$



### 3. Střešní plášť

Typ pláště:

Střešní panely Kingspan KS1000 RW tl. 160 mm

Hmotnost:  $13,63 \frac{kg}{m^2}$

Statické schéma:

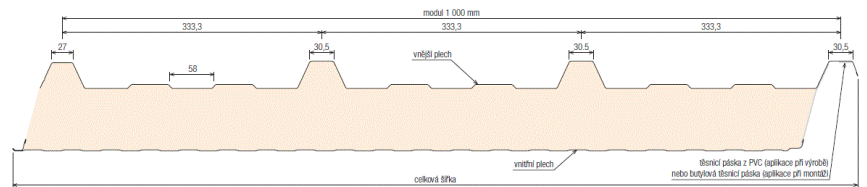
Spojité nosník,

Rozpon vaznic:

L= 3,00 m

Maximální rozpon podpor dle výrobce:

L= 3,90 m



## 4. Vaznice

### Geometrie

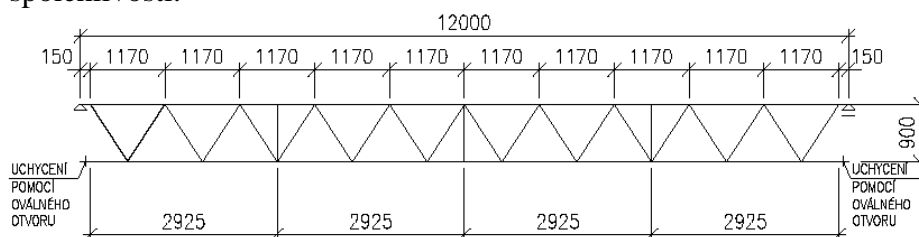
Navržená vaznice je příhradová s přímým horním i dolním pásem. Rozpětí vaznice je 12 m. Výška vaznice je 0,9 m.

Vaznice jsou půdorysně vzdálené 3 m osově od sebe.

Vaznice je staticky řešena jako prostý nosník na 12 m.

Pro zkrácení vzpěrné délky jsou na vaznici navrženy vzpěry.

Vzpěry jsou uvažovány v celém půdorysu haly, z důvodu zvýšení spolehlivosti.



### 4.1 Zatížení

Stálé zatížení				
Zat. stav	Popis zatížení	Zatížení na m <sup>2</sup>	Zatěž šířka	Výsledné zatížení
ZS1	Vlastní tíha			0,5 kN/m
ZS2	Střešní panel	0,15 kN/m	3,0 m	0,45 kN/m

Stálé zatížení				
Zat. stav	Popis zatížení	Zatížení na m <sup>2</sup>	Zatěž šířka	Výsledné zatížení
ZS1	Vlastní tíha	0,5 kN/m	3,0 m	1,5 kN/m
ZS2	Střešní panel	0,14 kN/m	3,0 m	0,42 kN/m

Proměnné zatížení				
Zat. stav	Popis zatížení	Zatížení na metr	Zatěž šířka	Výsledné zatížení
ZS3	Sníh	1,500 kN/m <sup>2</sup>	3,0 m	4,500 kN/m
ZS4	Vítr sání	-1,291 kN/m <sup>2</sup>	3,0 m	-3,783 kN/m
ZS5	Vítr tlak	0,228 kN/m <sup>2</sup>	3,0 m	0,684 kN/m

## 4.2 Vnitřní síly

Vnitřní síly na vaznici jsou spočítány pomocí programu Scia Engineer.

Označení prutů vaznice:



Kombinace:

Kombinace jsou vypočítány podle vztahů 6.10a a 6.10b z Eurokódu 1990.

$$6.10a: \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} * G_{k,j} + \gamma_{Q,1} * \psi_{0,1} * Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} * \psi_{0,i} * Q_{k,i}$$

$$6.10b: \sum_{j \geq 1} \xi_j * \gamma_{G,j} * G_{k,j} + \gamma_{Q,1} * Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} * \psi_{0,i} * Q_{k,i}$$

Extrémní kombinace na tlak:

$$6.10a: 1,35 * (ZS1 + ZS2) + 1,5 * ZS3 + 0,9 * ZS5$$

$$1,35(0,5 + 0,45) + 1,5 * 4,5 + 0,9 * 0,684 = 8,648 \frac{kN}{m}$$

Extrémní kombinace na tah:

$$6.10b: 1,15 * (ZS1 + ZS2) + 1,5 * ZS4$$

$$1,15 * (0,5 + 0,45) + 1,5 * (-3,873) = -4,717 \frac{kN}{m}$$

### 4.2.1 MSP

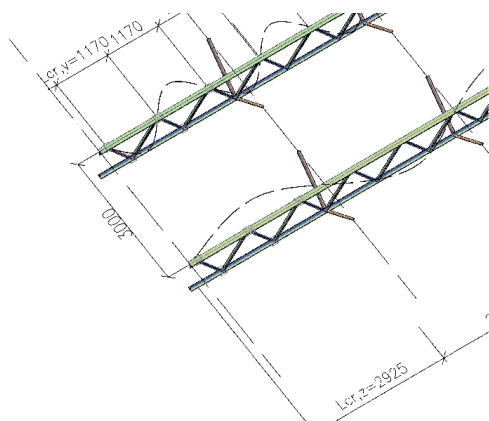
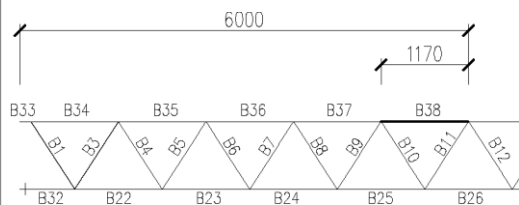
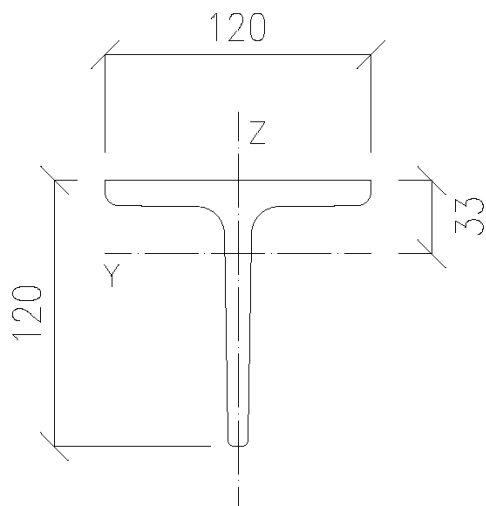
Průhyb na prutu B2:

$$u_z = 15,9 \text{ mm}$$

$$u_{lim} = \frac{l}{200} = \frac{12}{200} = 60 \text{ mm}$$

$$u_z \leq u_{lim} \rightarrow 15,9 \leq 60 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Vypočítáno pomocí programu Scia Engineer.



## 4.3 Dimenzování:

### 4.3.1 Horní pás

Horní pás je navržen z profilu T 120 je posouzena vaznice, ve které vzniká maximální osová síla.

Pás je dimenzován na maximální účinky.

Průřez:	T120	
h=	0,12	m
b=	0,12	m
t=	0,013	m
A=	0,00296	m <sup>2</sup>
A <sub>L</sub> =	0,46	m <sup>2</sup>
I <sub>y</sub> =	3,66E-06	m <sup>4</sup>
I <sub>z</sub> =	1,78E-06	m <sup>4</sup>
I <sub>t</sub> =	1,83E-07	m <sup>4</sup>
W <sub>el,y</sub> =	0,000042	m <sup>3</sup>
W <sub>el,z</sub> =	0,0000297	m <sup>3</sup>
G=	8,1E+10	
A <sub>y</sub> =	0,0017865	m <sup>2</sup>
A <sub>z</sub> =	0,0015187	m <sup>2</sup>
I <sub>w</sub> =	6,37E-40	m <sup>6</sup>
W <sub>pl,y</sub> =	0,0000787	m <sup>3</sup>
W <sub>pl,z</sub> =	0,00005	m <sup>3</sup>

*Materiál:*

**Ocel S235**

$f_y = 235 \text{ MPa}$

$E = 210 \text{ GPa}$

*Vnitřní síly:*

Horní pás je dimenzován na sílu v prvku B38:  $N_{ed} = 173,51 \text{ kN}$ , pro vzpěrné délky  $l_{cr,y} = 1,17 \text{ m}$ ,  $l_{cr,z} = 2,925 \text{ m}$ .

Prvek	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vz [kN]	My [kNm]
B38	CS1 - T120	0,000	Komb. 1a/2	<b>-173,51</b>	5,01	-0,23
B44	CS1 - T120	0,000	Komb. 1a/1	<b>0,00</b>	-7,19	1,09
B44	CS1 - T120	0,150	Komb. 1a/2	0,00	<b>-53,06</b>	0,00
B33	CS1 - T120	0,000	Komb. 1a/2	0,00	<b>53,06</b>	0,00
B35	CS1 - T120	0,000	Komb. 1a/2	-93,94	7,08	<b>-2,38</b>
B44	CS1 - T120	0,000	Komb. 1a/2	0,00	-51,78	<b>7,86</b>

Vnitřní síly byly vypočítány pomocí programu Scia Engineer

Zatřídění průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,00$$

$$\frac{c}{t} < 9 * \varepsilon \rightarrow \frac{107}{13} < 9 * 1,00 \rightarrow 8,31 < 9,00 \rightarrow 1. \text{ Třída}$$

Součinitel  $\alpha = 0,49$ , podle křivky  $c$

Poloměry setrvačnosti:

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{1,78 * 10^{-6}}{2,96 * 10^{-3}}} = 0,02452 \text{ m}$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{3,66 * 10^{-6}}{2,96 * 10^{-3}}} = 0,03516 \text{ m}$$

$$i_p = \sqrt{i_z^2 + i_y^2 + t^2} = \sqrt{0,02452^2 + 0,03516^2 + 0,033^2} = 0,0541 \text{ m}$$

Kritická štíhlost:

$$\lambda_y = \frac{l_{cr,y}}{i_y} = \frac{1,17}{0,03516} = 33,27$$

$$\lambda_z = \frac{l_{cr,z}}{i_z} = \frac{2,925}{0,02452} = 119,278$$

Kritické síly  $y, z$ :

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 * E * I_y}{l_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 * 210 * 10^9 * 3,66 * 10^{-6}}{1,17^2} = 5541,514 * 10^3 \text{ N}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 * E * I_z}{l_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 * 210 * 10^9 * 1,78 * 10^{-6}}{2,925^2} = 431,208 * 10^3 \text{ N}$$

Kritické síly pro prostorový vzpěr:

$$y_0 = 0 \text{ m}$$

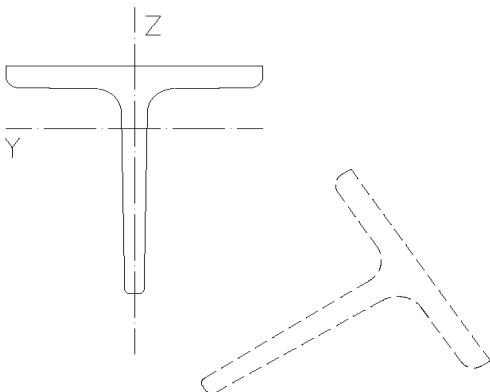
$$z_0 = 0,03 \text{ m}$$

$y_0, z_0$  - souřadnice středu smyku vztahované k těžišti plného průřezu

$$i_0^2 = i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2 = 0,02452^2 + 0,03516^2 + 0^2 + 0,03^2 = 0,052$$

$$\begin{aligned} N_{cr,T} &= \frac{1}{i_0^2} * \left( G * I_t + \frac{\pi^2 * E * I_w}{l_{cr,T}^2} \right) \\ &= \frac{1}{0,052^2} \\ &\quad * \left( 81 * 10^9 * 1,83 * 10^{-7} + \frac{\pi^2 * 210 * 10^9 * 6,37 * 10^{-40}}{12^2} \right) \\ &= 5414,126 * 10^3 \text{ N} = 5414,126 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\beta = 1 - \left( \frac{z_0}{i_0} \right)^2 = 1 - \left( \frac{0,03}{0,052} \right)^2 = 0,671$$



$$N_{cr,TF} = \frac{N_{cr,z}}{2 * \beta} \left[ 1 + \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,z}} - \sqrt{\left(1 - \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,z}}\right)^2 + 4 * \left(\frac{z_0}{y_0}\right)^2 * \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,z}}} \right] =$$

$$= \frac{431,278 * 10^3}{2 * 0,671} * \left[ 1 + \frac{5414,126 * 10^6}{431,278 * 10^3} - \sqrt{\left(1 - \frac{5414,126 * 10^6}{431,278 * 10^3}\right)^2 + 4 * \left(\frac{0,03}{0,052}\right)^2 * \frac{5414,126 * 10^6}{431,278 * 10^3}} \right]$$

$$= 419,619 * 10^3 N = 419,619 kN$$

$$N_{cr,T} > N_{cr,TF} \rightarrow 5414,126 kN > 419,619 kN \rightarrow Vyhovuje$$

Poměrné štíhlosti:

$$\lambda_1 = 93,9 * \varepsilon = 93,9 * 1,0 = 93,9$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{33,27}{93,9} = 0,354$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{119,278}{93,9} = 1,27$$

$$\bar{\lambda}_T = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr,TF}}} = \sqrt{\frac{2,96 * 10^{-3} * 235 * 10^6}{419619}} = 1,288$$

$$\phi_y = 0,5 * [1 + \alpha_1 * (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^{-2}]$$

$$= 0,5 * [1 + 0,49 * (0,354 - 0,2) + 0,354^2] = 0,600$$

$$\phi_z = 0,5 * [1 + \alpha_1 * (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^{-2}]$$

$$= 0,5 * [1 + 0,49 * (1,27 - 0,2) + 1,27^2] = 1,569$$

$$\phi_T = 0,5 * [1 + \alpha_1 * (\bar{\lambda}_T - 0,2) + \bar{\lambda}_T^{-2}]$$

$$= 0,5 * [1 + 0,49 * (1,288 - 0,2) + 1,288^2] = 1,595$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,600 + \sqrt{0,600^2 - 0,354^2}} = 0,921$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1,569 + \sqrt{1,569^2 - 1,27^2}} = 0,402$$

$$\chi_T = \frac{1}{\phi_T + \sqrt{\phi_T^2 - \bar{\lambda}_T^2}} = \frac{1}{1,595 + \sqrt{1,595^2 - 1,288^2}} = 0,321$$

$$\min(\chi_y; \chi_z; \chi_T) = \min(0,921; 0,402; 0,321) = 0,321$$



Únosnost na prostorový vzpěr:

$$N_{b,rd,T} = \frac{\chi_T * A * f_y}{\gamma_{m1}} = \frac{0,321 * 2,96 * 10^{-3} * 235 * 10^6}{1,00} = 223,417kN$$

$$\frac{N_{ed}}{N_{b,rd,T}} < 1,0 \rightarrow \frac{173,51}{223,417} < 1,0 \rightarrow 0,777 < 1,0 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Ohybová únosnost:

$$M_{pl,y,Rd} = \frac{\chi_{LT} * w_{pl,y} * f_y}{\gamma_{m1}} = \frac{1,0 * 7,87 * 10^{-5} * 235 * 10^6}{1} = 18,495kN$$

$$\frac{M_{ed}}{M_{pl,y,Rd}} < 1,0 \rightarrow \frac{7,86}{18,495} < 1,0 \rightarrow 0,425 < 1,0 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Kombinace osového tlaku a ohybu:

$$C_{m,LT}=1,0; w_y = \frac{w_{pl,y}}{w_{pl,z}} = 1,87 \leq 1,5; w_z = \frac{w_{pl,z}}{w_{pl,y}} = 1,683 \leq 1,5$$

$$C_{mz} = 1 + 0,3 * \frac{N_{ed}}{N_{cr,z}} = 1 + 0,3 * \frac{173,51}{431,208} = 1,120$$

$$\mu_y = \frac{1 - \frac{N_{ed}}{N_{cr,y}}}{1 - \chi_y * \frac{N_{ed}}{N_{cr,y}}} = \frac{1 - \frac{173,51}{5414,126}}{1 - 0,921 * \frac{173,51}{5414,126}} = 0,997$$

$$C_{yz} = 1 + (w_z - 1) * \left[ \left( 2 - 14 * \frac{C_{mz}^2 * \lambda_{max}^2}{w_z^5} \right) n_{pl} - C_{LT} \right] \geq 0,6 * \sqrt{\frac{w_z}{w_y}} * \frac{w_{pl,y}}{w_{pl,z}}$$

$$C_{yz} = 1 + (1,5 - 1) * \left[ \left( 2 - 14 * \frac{1,12^2 * 1,288^2}{1,5^2} \right) 0,381 - 1 \right]$$

$$\geq 0,6 * \sqrt{\frac{1,5 * 7,87 * 10^{-5}}{1,5 * 5 * 10^{-5}}}$$

$$0,974 \geq 0,319$$

$$k_{yz} = C_{mz} * \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{ed}}{N_{cr,z}}} \frac{1}{C_{yz}} 0,6 \sqrt{\frac{w_z}{w_y}} = 1,122 * \frac{0,997}{1 - \frac{173,51}{431,208}} \frac{1}{0,919} 0,6 \sqrt{\frac{1,5}{1,5}}$$

$$= 1,221$$

$$\frac{N_{ed}}{\frac{\chi_z * N_{Rk,z}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} * \frac{M_{ed}}{M_{pl,y,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{173,51}{\frac{0,402 * 2,96 * 10^{-3} * 235 * 10^6}{1,0}} + 1,221 * \frac{7,86}{18,945} \leq 1,0$$

$$0,519 \leq 1,0 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Smyková únosnost:

$$V_{pl,Rd,z} = \frac{A_z * \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,519 * 10^{-3} * \frac{235 * 10^6}{\sqrt{3}}}{1} = 242,388kN$$

$$\frac{V_{pl,Rd,z}}{2} \geq V_{ed} \rightarrow \frac{242,388}{2} \geq 53,06 \rightarrow 121,194kN \geq 50,58kN$$

→ Můžeme zanedbat

Klopení:

Vliv klopení můžeme zanedbat z důvodu stabilizace pásu střešním panelem.

Posouzení na tah v prutu B38, kde vzniká maximální tahová síla  $N_{ed}=90,78$  kN.

Prvek	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vz [kN]	My [kNm]
B38	CS1 - T120	0,000	Komb. 2 b/3	<b>-20,49</b>	0,46	0,00
B38	CS1 - T120	0,000	Komb. 2 b/4	<b>90,78</b>	-2,87	0,17
B33	CS1 - T120	0,000	Komb. 2 b/4	0,00	<b>-27,80</b>	0,00
B44	CS1 - T120	0,150	Komb. 2 b/4	0,00	<b>27,80</b>	0,00
B44	CS1 - T120	0,000	Komb. 2 b/4	0,00	27,07	<b>-4,12</b>
B42	CS1 - T120	1,170	Komb. 2 b/4	48,93	3,97	<b>1,31</b>

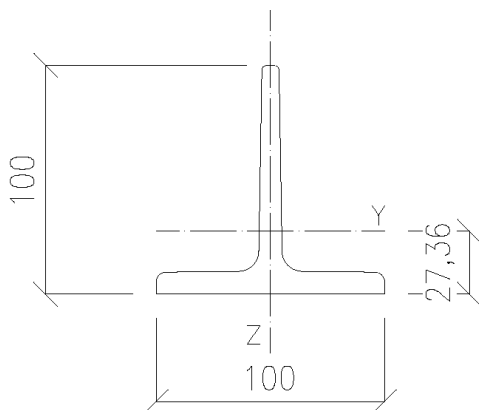
Vnitřní síly byly vypočítány pomocí programu Scia Engineer.

$$N_{rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2,96 * 10^{-3} * 235 * 10^6}{1,0} = 695,6 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{ed}}{N_{rd}} \leq 1,0 \rightarrow \frac{90,78}{695,6} \leq 1,0 \rightarrow 0,130 \leq 1,0 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

#### 4.3.2 Dolní pás:

Dolní pás je navržen z profilu T 100 je posouzena vaznice, ve které vzniká maximální osová síla.



Průřez:	T100	
h=	0,1	m
b=	0,1	m
t=	0,011	m
A=	0,00209	m <sup>2</sup>
A <sub>L</sub> =	0,383	m <sup>2</sup>
I <sub>y</sub> =	1,79E-06	m <sup>4</sup>
I <sub>z</sub> =	8,83E-07	m <sup>4</sup>
I <sub>t</sub> =	9,22E-08	m <sup>4</sup>
W <sub>el,y</sub> =	0,0000246	m <sup>3</sup>
W <sub>el,z</sub> =	0,0000177	m <sup>3</sup>
G=	8,1E+10	
A <sub>y</sub> =	0,0012648	m <sup>2</sup>
A <sub>z</sub> =	0,0010713	m <sup>2</sup>
I <sub>w</sub> =	3,47E-40	m <sup>6</sup>
W <sub>pl,y</sub> =	4,615E-05	m <sup>3</sup>
W <sub>pl,z</sub> =	2,946E-05	m <sup>3</sup>

Materiál:

$$f_y = 235 \text{ MPa}$$

$$E = 210 \text{ GPa}$$

Zatřídění průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

$$\frac{c}{t} < 9 * \varepsilon \rightarrow \frac{107}{13} < 9 * 1,0 \rightarrow 8,31 < 9,0 \rightarrow 1. \text{ Třída}$$

Součinitel  $\alpha=0,49$  podle křivky  $c$

Posouzení na tah v prvku B26, kde vzniká maximální tahová síla

$N_{ed}=176,72$  kN.

Prvek	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vz [kN]	My [kNm]
B31	CS2 - T100	0,000	Komb. 1a/1	<b>0,00</b>	0,16	-0,06
B26	CS2 - T100	0,000	Komb. 1a/2	<b>176,72</b>	0,13	0,34
B30	CS2 - T100	1,170	Komb. 1a/2	71,79	<b>-0,79</b>	<b>-0,34</b>
B22	CS2 - T100	0,000	Komb. 1a/2	71,80	<b>0,79</b>	-0,33
B30	CS2 - T100	0,000	Komb. 1a/2	71,79	-0,54	<b>0,45</b>

Vnitřní síly byly vypočítány pomocí programu Scia Engineer.

$$N_{rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2,09 * 10^{-3} * 235 * 10^6}{1,0} = 491,15 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{ed}}{N_{rd}} \leq 1,0 \rightarrow \frac{176,72}{491,15} \leq 1,0 \rightarrow 0,360 \leq 1,0 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Posouzení na tlak, je posouzen prut B26, kde vzniká největší tlaková síla

$N_{ed}= 92,6$  kN.

Prvek	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vz [kN]	My [kNm]
B26	CS2 - T100	0,000	Komb. 2 b/4	<b>-92,60</b>	0,11	-0,21
B26	CS2 - T100	0,000	Komb. 2 b/3	<b>20,79</b>	0,11	0,02
B22	CS2 - T100	1,170	Komb. 2 b/4	-37,65	<b>-0,41</b>	-0,26
B30	CS2 - T100	0,000	Komb. 2 b/4	-37,65	<b>0,42</b>	<b>-0,26</b>
B30	CS2 - T100	1,170	Komb. 2 b/4	-37,65	0,20	<b>0,10</b>

Vnitřní síly byly vypočítány pomocí programu Scia Engineer.

Poloměry setrvačnosti:

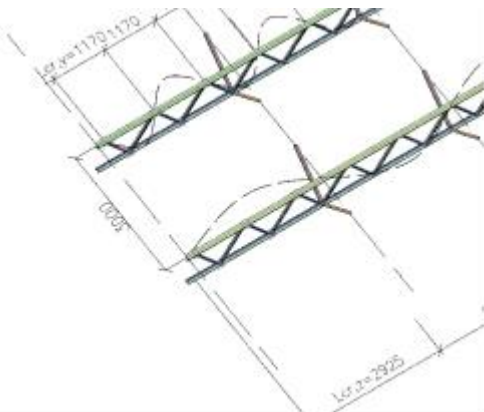
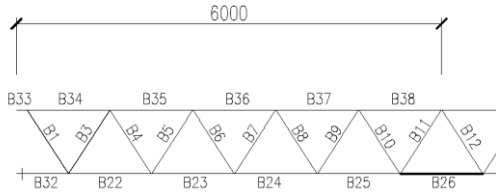
$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{0,883 * 10^{-6}}{2,09 * 10^{-3}}} = 0,02055 \text{ m}$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{1,79 * 10^{-6}}{2,09 * 10^{-3}}} = 0,02927 \text{ m}$$

$$i_p = \sqrt{i_z^2 + i_y^2 + t^2} = \sqrt{0,02055^2 + 0,02927^2 + 0,033^2} = 0,0467 \text{ m}$$

Kritická štíhlost:

$$\lambda_y = \frac{l_{cr,y}}{i_y} = \frac{1,17}{0,02927} = 39,979$$



Dolní pás je zajištěn proti vybočení z roviny pomocí ztužidel.

Zajištěna jsou po ¼ rozpětí.

$$\lambda_z = \frac{l_{cr,z}}{i_z} = \frac{2,925}{0,02055} = 142,305$$

Kritické síly y, z:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 * E * I_y}{l_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 * 210 * 10^9 * 1,79 * 10^{-6}}{1,17^2} = 2710,194 * 10^3 N$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 * E * I_z}{l_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 * 210 * 10^9 * 0,883 * 10^{-6}}{2,925^2} = 213,908 * 10^3 N$$

Kritické síly pro prostorový vzpěr:

$$y_0 = 0 \text{ m}$$

$$z_0 = 0,02736 \text{ m}$$

$y_0, z_0$  - souřadnice středu smyku vztažené k těžišti plného průřezu

$$i_0^2 = i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2 = 0,02055^2 + 0,02927^2 + 0^2 + 0,02736^2 = 0,0467$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} * \left( G * I_t + \frac{\pi^2 * E * I_w}{l_{cr,T}^2} \right) = \frac{1}{0,0467^2} * \left( 81 * 10^9 * 0,922 * 10^{-7} + \frac{\pi^2 * 210 * 10^9 * 3,470 * 10^{-40}}{12^2} \right) = 3427,435 * 10^3 N = 3427,435 kN$$

$$\beta = 1 - \left( \frac{z_0}{i_0} \right)^2 = 1 - \left( \frac{0,02736}{0,0467} \right)^2 = 0,587$$

$$N_{cr,TF} = \frac{N_{cr,z}}{2 * \beta} \left[ 1 + \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,z}} - \sqrt{\left( 1 - \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,z}} \right)^2 + 4 * \left( \frac{z_0}{y_0} \right)^2 * \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,z}}} \right] = \frac{213,98 * 10^3}{2 * 0,587} * \left[ 1 + \frac{3427,435 * 10^6}{213,908 * 10^3} - \sqrt{\left( 1 - \frac{3427,435 * 10^6}{213,908 * 10^3} \right)^2 + 4 * \left( \frac{0,02736}{0,0467} \right)^2 * \frac{3427,435 * 10^6}{213,908 * 10^3}} \right] = 208,339 * 10^3 N = 208,339 kN$$

$$N_{cr,T} > N_{cr,TF} \rightarrow 3427,435 kN > 208,339 kN \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Poměrné štíhlosti:

$$\lambda_1 = 93,9 * \varepsilon = 93,9 * 1,0 = 93,9$$

$$\overline{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{39,979}{93} = 0,426$$

$$\overline{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{142,305}{93} = 1,515$$

$$\overline{\lambda}_T = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr,TF}}} = \sqrt{\frac{2,09 * 10^{-3} * 235 * 10^6}{208,339}} = 1,535$$

$$\begin{aligned}\phi_y &= 0,5 * [1 + \alpha_1 * (\overline{\lambda}_y - 0,2) + \overline{\lambda}_y^2] \\ &= 0,5 * [1 + 0,49 * (0,426 - 0,2) + 0,426^2] = 0,646\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi_z &= 0,5 * [1 + \alpha_1 * (\overline{\lambda}_z - 0,2) + \overline{\lambda}_z^2] \\ &= 0,5 * [1 + 0,49 * (1,515 - 0,2) + 1,515^2] = 1,970\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi_T &= 0,5 * [1 + \alpha_1 * (\overline{\lambda}_T - 0,2) + \overline{\lambda}_T^2] \\ &= 0,5 * [1 + 0,49 * (1,535 - 0,2) + 1,535^2] = 2,006\end{aligned}$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \overline{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,646 + \sqrt{0,646^2 - 0,426^2}} = 0,883$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \overline{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1,91 + \sqrt{1,97^2 - 1,515^2}} = 0,310$$

$$\chi_T = \frac{1}{\phi_T + \sqrt{\phi_T^2 - \overline{\lambda}_T^2}} = \frac{1}{2,006 + \sqrt{2,006^2 - 1,535^2}} = 0,253$$

$$\min(\chi_y; \chi_z; \chi_T) = \min(0,883; 0,310; 0,253) = 0,253$$

Únosnost na prostorový vzpěr:

$$N_{b,rd,T} = \frac{\chi_T * A * f_y}{\gamma_{m1}} = \frac{0,253 * 2,09 * 10^{-3} * 235 * 10^6}{1,00} = 124,309 kN$$

$$\frac{N_{ed}}{N_{b,rd,T}} < 1,0 \rightarrow \frac{92,60}{124,309} < 1,0 \rightarrow 0,745 < 1,0 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Ohybová únosnost:

$$M_{pl,y,Rd} = \frac{\chi_{LT} * w_{pl,y} * f_y}{\gamma_{m1}} = \frac{1 * 4,615 * 10^{-5} * 235 * 10^6}{1} = 10,845 kN$$

$$\frac{M_{ed}}{M_{pl,y,Rd}} < 1,0 \rightarrow \frac{0,26}{10,845} < 1,0 \rightarrow 0,024 < 1,0 \rightarrow Vyhovuje$$

Kombinace osového tlaku a ohybu:

$$C_{m,LT}=1,0; w_y = \frac{w_{pl,y}}{w_{pl,z}} = 1,87 \leq 1,5; w_z = \frac{w_{pl,z}}{w_{pl,y}} = 1,664 \leq 1,5$$

$$C_{mz} = 1 + 0,3 * \frac{N_{ed}}{N_{cr,z}} = 1 + 0,3 * \frac{92,6}{213,908} = 1,130$$

$$\mu_y = \frac{1 - \frac{N_{ed}}{N_{cr,y}}}{1 - \chi_y * \frac{N_{ed}}{N_{cr,y}}} = \frac{1 - \frac{92,6}{2710,194}}{1 - 0,883 * \frac{92,6}{2710,194}} = 0,996$$

$$C_{yz} = 1 + (w_z - 1) * \left[ \left( 2 - 14 * \frac{C_{mz}^2 * \lambda_{max}^2}{w_z^5} \right) n_{pl} - C_{LT} \right] \geq 0,6 * \sqrt{\frac{w_z}{w_y}} * \frac{w_{pl,y}}{w_{pl,z}}$$

$$C_{yz} = 1 + (1,5 - 1) * \left[ \left( 2 - 14 * \frac{1,13^2 * 1,53^2}{1,5^2} \right) 0,435 - 1 \right]$$

$$\geq 0,6 \sqrt{\frac{1,5 * 4,615 * 10^{-5}}{1,5 * 2,946 * 10^{-5}}}$$

$$0,549 \geq 0,360$$

$$k_{yz} = C_{mz} * \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{ed}}{N_{cr,z}}} \frac{1}{C_{yz}} 0,6 \sqrt{\frac{w_z}{w_y}} = 1,13 * \frac{0,996}{1 - \frac{92,6}{213,908}} \frac{1}{0,549} 0,6 \sqrt{\frac{1,5}{1,5}}$$

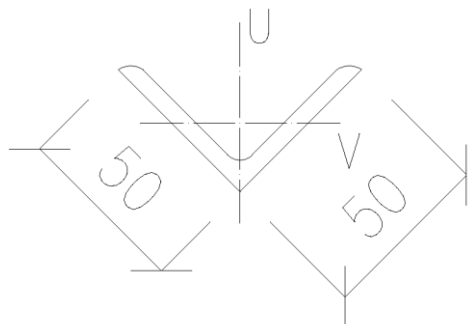
$$= 2,203$$

$$\frac{N_{ed}}{\chi_z * N_{Rk,z}} + k_{yz} * \frac{M_{ed}}{M_{pl,y,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{\gamma_{M1}}{92,6} \frac{0,298 * 2,09 * 10^{-3} * 235 * 10^6}{1,0} + 2,203 * \frac{0,26}{10,845} \leq 1,0$$

$$0,0525 \leq 1,0 \rightarrow Vyhovuje$$

#### 4.3.4 Diagonála:



Průřez:	L50/50/5	
h=	0,05	m
b=	0,05	m
t=	0,005	m
A=	0,00048	m <sup>2</sup>
A <sub>L</sub> =	0,194	m <sup>2</sup>
I <sub>y</sub> =	1,74E-07	m <sup>4</sup>
I <sub>z</sub> =	4,52E-07	m <sup>4</sup>
I <sub>t</sub> =	4,065E-09	m <sup>4</sup>
W <sub>el,y</sub> =	4,925E-06	m <sup>3</sup>
W <sub>el,z</sub> =	2,275E-06	m <sup>3</sup>
G=	8,1E+10	
A <sub>y</sub> =	0,0002353	m <sup>2</sup>
A <sub>z</sub> =	0,0002353	m <sup>2</sup>
I <sub>w</sub> =	3,722E-42	m <sup>6</sup>
W <sub>pl,y</sub> =	5,583E-06	m <sup>3</sup>
W <sub>pl,z</sub> =	5,583E-06	m <sup>3</sup>

Materiál:

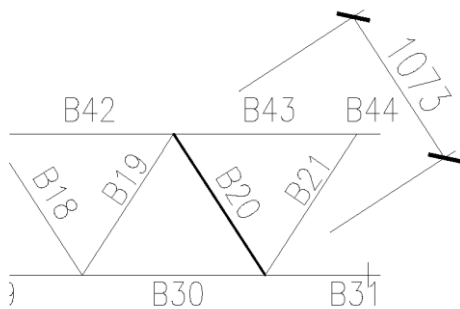
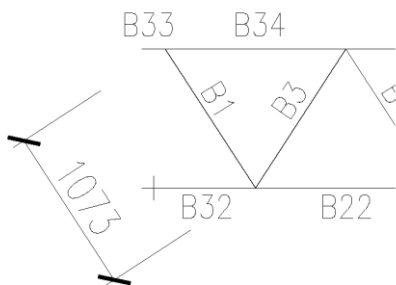
$$f_y = 235 \text{ MPa}$$

$$E = 210 \text{ GPa}$$

Vnitřní síly:

Prvek	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vz [kN]	My [kNm]
B20	CS4 - L50X5	1,076	Komb. 1a/2	<b>-64,75</b>	0,01	0,03
B1	CS4 - L50X5	0,000	Komb. 1a/2	<b>66,35</b>	-0,62	0,43
B1	CS4 - L50X5	1,076	Komb. 1a/2	66,30	<b>-0,65</b>	-0,25
B21	CS4 - L50X5	0,000	Komb. 1a/2	65,97	<b>0,66</b>	<b>-0,25</b>
B21	CS4 - L50X5	1,071	Komb. 1a/2	66,01	0,63	<b>0,44</b>

Vnitřní síly byly vypočítány pomocí programu Scia Engineer.



Posouzení na tah, je posouzen prut B1, kde vzniká největší tahová síla  
 $N_{ed} = 66,35 \text{ kN}$ .

$$N_{rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,48 * 10^{-3} * 235 * 10^6}{1,0} = 112,800 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{ed}}{N_{rd}} \leq 1,0 \rightarrow \frac{66,35}{112,8} \leq 1,0 \rightarrow 0,561 \leq 1,0 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Posouzení na tlak, je posouzen prut B20, kde vzniká největší tlaková síla  
 $N_{ed} = 64,75 \text{ kN}$

Poloměry setrvačnosti:

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{0,174 * 10^{-6}}{0,48 * 10^{-3}}} = 0,019 \text{ m}$$

Kritická štíhlost:

$$\lambda_y = \frac{l_{cr,y}}{i_y} = \frac{1,073}{0,019} = 56,35$$

Poměrné štíhlosti:

$$\lambda_1 = 93,9 * \varepsilon = 93,9 * 1,0 = 93,9$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{56,35}{93} = 0,600$$

$$\begin{aligned} \phi_y &= 0,5 * [1 + \alpha_1 * (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] \\ &= 0,5 * [1 + 0,49 * (0,600 - 0,2) + 0,600^2] = 0,778 \end{aligned}$$

Součinitel vzpěrnosti:

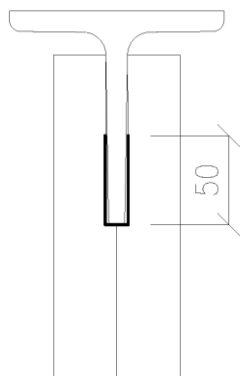
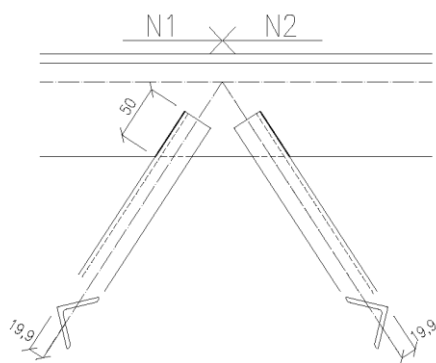
$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y^2}} = \frac{1}{0,778 + \sqrt{0,778^2 - 0,600^2}} = 0,785$$

Vzpěrná únosnost:

$$N_{b,rd,y} = \frac{\chi_y * A * f_y}{\gamma_{m1}} = \frac{0,785 * 0,48 * 10^{-3} * 235 * 10^6}{1,00} = 88,585 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{ed}}{N_{b,rd,T}} < 1,0 \rightarrow \frac{64,75}{88,585} < 1,0 \rightarrow 0,731 < 1,0 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$





### 4.3.5 Spoje

Posouzení přípoje diagonály vaznice k pásům vaznice.

Navržený svar je koutový, ovařený kolem v místě diagonály

Materiál svaru:		
Ocel	S450	
$f_u$	550	MPa
$\beta_w$	0,9	
$\gamma_m$	1,25	
$e$	0,0199	mm
$a_s$	4	mm
$l_s$	100	mm

Síly ve svaru:		
$N_1$	64,75	kN
$N_2$	40,08	kN

$$\Delta N = N_1 - N_2 = 64,75 - 40,08 = 24,67 \text{ kN}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{\Delta N}{l_s * a_s} = \frac{24,67}{2 * 0,1 * 4} = 61,675 \text{ MPa}$$

$$M_{ed} = N_{ed} * e = 24,67 * 0,0199 = 0,4934 \text{ kNm}$$

$$\sigma_M = \frac{6 * M_{ed}}{l_s * a_s} = \frac{6 * 0,4934 * 10^6}{100^2 * 4} = 74,1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_M}{\sqrt{2}} = \frac{74,01}{\sqrt{2}} = 52,332 \text{ MPa}$$

Posouzení:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 * (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{m2}}$$

$$\sqrt{52,332^2 + 3 * (52,332^2 + 61,675^2)} \leq \frac{550}{0,9 * 1,25}$$

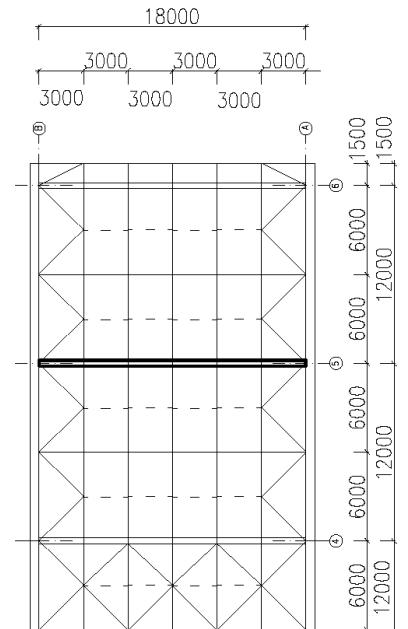
$$149,552 \text{ MPa} \leq 488,889 \text{ MPa} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

## 5. Vazník

## 5.1 Geometrie

Vazník je navržen jako příhradový a má rozpětí 18 m. Výška vazníku je u podpory 1,8 m a uprostřed rozpětí 2,55 m.

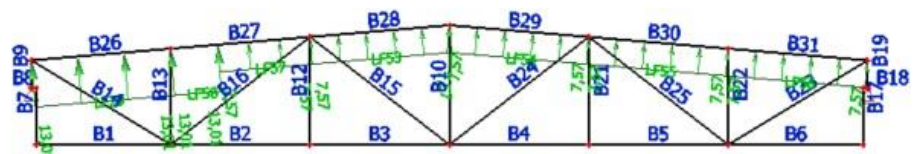
## 5.2 Zatížení



Stálé zatížení				
Zat. stav	Popis zatížení	Zatížení na m <sup>2</sup>	Zatěž šířka	Výsledné zatížení
ZS1	Vlastní tíha			2,25 kN/m
ZS2	Střešní panel	0,15 kN/m	12,0 m	1,8 kN/m
ZS3	Vaznice	0,21kN/m	12,0 m	2,5 kN/m
ZS4	Vybavení haly	0,15 kN/m	12,0 m	1,8 kN/m

Proměnné zatížení				
Zat. stav	Popis zatížení	Zatížení na metr	Zatěž šířka	Výsledné zatížení
ZS5	Sníh	1,500 kN/m <sup>2</sup>	12,0 m	18,00 kN/m
ZS6	Vítr sání	-1,085 kN/m <sup>2</sup>	12 m	-13,014kN/m
ZS7	Vítr sání	-0,931 kN/m <sup>2</sup>	12 m	-7,57 kN/m
ZS8	Vítr tlak	0,228 kN/m <sup>2</sup>	12,0 m	2,736 kN/m

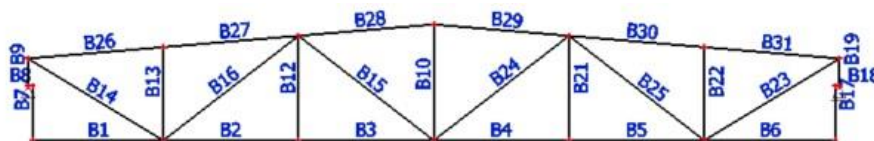
Schéma zadaného zatížení větru v místě nejnepříznivějšího působení sání větru.



## 5.3 Vnitřní síly

Vnitřní síly na vaznici jsou spočítány pomocí programu Scia Engineer.

Označení prutů vaznice:



### 5.3.1 Kombinace:

Kombinace jsou vypočítány podle vztahů 6.10a a 6.10b z Eurokódu 1990.

$$6.10a: \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} * G_{k,j} + \gamma_{Q,1} * \psi_{0,1} * Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} * \psi_{0,i} * Q_{k,i}$$

$$6.10b: \sum_{j \geq 1} \xi_j * \gamma_{G,j} * G_{k,j} + \gamma_{Q,1} * Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} * \psi_{0,i} * Q_{k,i}$$

Extrémní kombinace na tlak:

$$6.10a: 1,35 * (ZS1 + ZS2 + ZS3 + ZS4) + 1,5 * ZS5 + 0,9 * ZS8$$

$$1,35(2,25 + 1,8 + 2,5 + 1,8) + 1,5 * 18,0 + 0,9 * 2,74 = 39,28 \frac{kN}{m}$$

Extrémní kombinace na tah:

$$6.10b: 1,15 * (ZS1 + ZS2 + ZS3 + ZS4) + 1,5 * (ZS6 + ZS7)$$

$$1,15 * (2,25 + 1,8 + 2,5 + 1,8) + 1,5 * (-8,926) = -3,787 \frac{kN}{m}$$

### 5.3.2 MSP

Průhyb na prutu B28:

$$u_z = 35,3 \text{ mm}$$

$$u_{lim} = \frac{l}{200} = \frac{18}{200} = 90 \text{ mm}$$

$$u_z \leq u_{lim} \rightarrow 35,3 \leq 90 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

## 5.4 Dimenzování

### 5.4.1 Horní pás

Horní pás je navržen z profilu L160/15 je posouzen vazník, ve kterém vzniká maximální osová síla

Průřez:	L160/15	
h=	0,16	m
b=	0,16	m
t=	0,015	m
A=	0,004606	m <sup>2</sup>
A <sub>L</sub> =	0,626	m <sup>2</sup>
I <sub>y</sub> =	4,51E-06	m <sup>4</sup>
I <sub>z</sub> =	0,0000175	m <sup>4</sup>
I <sub>t</sub> =	3,54E-07	m <sup>4</sup>
W <sub>el,y</sub> =	7,1E-08	m <sup>3</sup>
W <sub>el,z</sub> =	1,54E-07	m <sup>3</sup>
G=	8,1E+10	

Materiál:

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$E = 210 \text{ GPa}$$

Zatřídění průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

$$\frac{c}{t} < 15 * \varepsilon \rightarrow \frac{160}{15} < 15 * 0,81 \rightarrow 10,667 < 12,15 \rightarrow 3. \text{ Třída}$$

Součinitel  $\alpha = 0,34$ , podle křivky b.

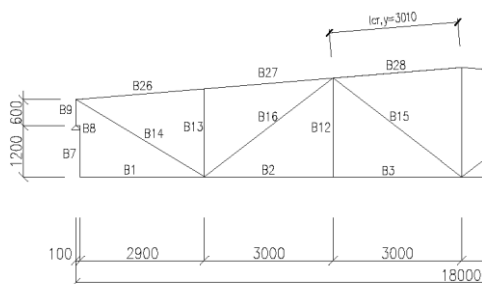
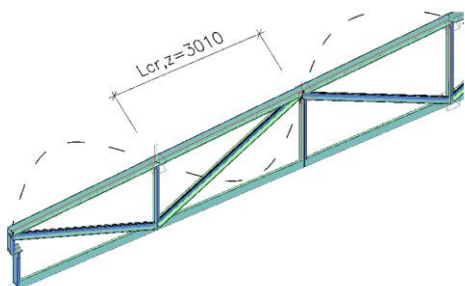
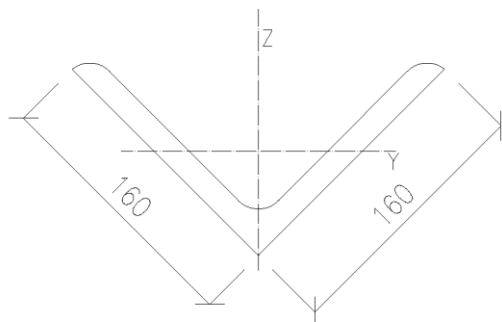
Vnitřní síly:

Posouzení na tlak, je posouzen prut B28, kde vzniká největší tlaková síla  $N_{ed} = 657,56 \text{ kN}$ . Kritické délky  $l_{cr,y} = 3010 \text{ mm}$ ,  $l_{cr,z} = 3010 \text{ mm}$ ,

$l_{cr,T} = 3010 \text{ mm}$ .

Prvek	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vz [kN]	My [kNm]
B28	CS1 - L160X15	0,000	Komb. 6.10a/1	<b>-657,56</b>	56,34	-25,36
B26	CS1 - L160X15	3,010	Komb. 6.10a/2	<b>-112,61</b>	-14,04	-6,76
B26	CS1 - L160X15	3,010	Komb. 6.10a/1	-450,89	<b>-61,47</b>	-29,79
B31	CS1 - L160X15	0,000	Komb. 6.10a/1	-450,89	<b>61,47</b>	-29,79
B27	CS1 - L160X15	0,000	Komb. 6.10a/1	-461,96	59,39	<b>-30,44</b>
B26	CS1 - L160X15	1,405	Komb. 6.10a/1	-450,95	-0,18	<b>19,70</b>

Vnitřní síly byly vypočítány pomocí programu Scia Engineer.



Poloměry setrvačnosti:

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{1,75 * 10^{-5}}{4,60 * 10^{-3}}} = 0,0616 \text{ m}$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{4,51 * 10^{-6}}{4,60 * 10^{-3}}} = 0,0313 \text{ m}$$

$$i_p = \sqrt{i_z^2 + i_y^2 + a^2} = \sqrt{0,0616^2 + 0,0313^2 + 0,0635^2} = 0,0938 \text{ m}$$

Kritická štíhlost:

$$\lambda_y = \frac{l_{cr,y}}{i_y} = \frac{3,010}{0,0313} = 96,192$$

$$\lambda_z = \frac{l_{cr,z}}{i_z} = \frac{3,010}{0,0616} = 48,832$$

Kritické síly y, z:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 * E * I_y}{l_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 * 210 * 10^9 * 4,51 * 10^{-6}}{3,01^2} = 1031,772 * 10^3 \text{ N}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 * E * I_z}{l_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 * 210 * 10^9 * 1,75 * 10^{-6}}{3,01^2} = 4003,355 * 10^3 \text{ N}$$

Kritické síly pro prostorový vzpěr:

$$y_0 = 0 \text{ m}$$

$$z_0 = 0,0635 \text{ m}$$

$y_0, z_0$  - souřadnice středu smyku vztažené k těžišti plného průřezu

$$\begin{aligned} N_{cr,T} &= \frac{1}{i_0^2} * \left( G * I_t + \frac{\pi^2 * E * I_w}{l_{cr,T}^2} \right) \\ &= \frac{1}{0,0938^2} * \left( 81 * 10^9 * 3,54 * 10^{-7} + \frac{\pi^2 * 210 * 10^9 * 0}{3,010^2} \right) \\ &= 3254,415 * 10^3 \text{ N} = 3254,415 \text{ kN} \\ \beta &= 1 - \left( \frac{z_0}{i_0} \right)^2 = 1 - \left( \frac{0,0635}{0,0938} \right)^2 = 0,542 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_{cr,TF} &= \frac{N_{cr,z}}{2 * \beta} \left[ 1 + \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,z}} - \sqrt{\left( 1 - \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,z}} \right)^2 + 4 * \left( \frac{a}{i_p} \right)^2 * \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,z}}} \right] = \\ &= \frac{4003,355 * 10^3}{2 * 0,542} \\ &* \left[ 1 + \frac{3254,415 * 10^6}{4003,355 * 10^3} - \sqrt{\left( 1 - \frac{3254,415 * 10^6}{4003,355 * 10^3} \right)^2 + 4 * \left( \frac{0,0635}{0,0938} \right)^2 * \frac{3254,415 * 10^6}{4003,355 * 10^3}} \right] \\ &= 2136,093 * 10^3 \text{ N} = 2136,093 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$N_{cr,T} > N_{cr,TF} \rightarrow 3254,415 \text{ kN} > 2136,093 \text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Poměrné štíhlosti:

$$\lambda_1 = 93,9 * \varepsilon = 93,9 * 0,81 = 76,399$$

$$\overline{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{96,192}{76,399} = 1,259$$

$$\overline{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{48,832}{76,399} = 0,639$$

$$\overline{\lambda}_T = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr,TF}}} = \sqrt{\frac{4,606 * 10^{-3} * 355 * 10^6}{2139,706}} = 0,874$$

$$\begin{aligned}\phi_y &= 0,5 * [1 + \alpha_1 * (\overline{\lambda}_y - 0,2) + \overline{\lambda}_y^2] \\ &= 0,5 * [1 + 0,34 * (1,259 - 0,2) + 1,259^2] = 1,472\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi_z &= 0,5 * [1 + \alpha_1 * (\overline{\lambda}_z - 0,2) + \overline{\lambda}_z^2] \\ &= 0,5 * [1 + 0,34 * (0,639 - 0,2) + 0,639^2] = 0,779\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi_T &= 0,5 * [1 + \alpha_1 * (\overline{\lambda}_T - 0,2) + \overline{\lambda}_T^2] \\ &= 0,5 * [1 + 0,34 * (0,875 - 0,2) + 0,875^2] = 0,997\end{aligned}$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \overline{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,472 + \sqrt{1,472^2 - 1,259^2}} = 0,447$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \overline{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0,779 + \sqrt{0,779^2 - 0,639^2}} = 0,817$$

$$\chi_T = \frac{1}{\phi_T + \sqrt{\phi_T^2 - \overline{\lambda}_T^2}} = \frac{1}{0,997 + \sqrt{0,997^2 - 0,875^2}} = 0,517$$

$$\min(\chi_y; \chi_z; \chi_T) = \min(0,447; 0,779; 0,997) = 0,448$$

Únosnost na vzpěr:

$$N_{b,rd} = \frac{\chi_y * A * f_y}{\gamma_{m1}} = \frac{0,447 * 4,606 * 10^{-3} * 355 * 10^6}{1,00} = 731,229 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{ed}}{N_{b,rd}} < 1,0 \rightarrow \frac{657,56}{731,229} < 1,0 \rightarrow 0,899 < 1,0 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Posouzení na tah, je posouzen prut B28, kde vzniká největší tahová síla  $N_{ed} = 63,68 \text{ kN}$ .

Prvek	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vz [kN]	My [kNm]
B28	CS1 - L160X15	0,000	Komb. 6.10b/3	<b>-139,85</b>	10,93	-4,86
B28	CS1 - L160X15	3,010	Komb. 6.10b/4	<b>63,68</b>	6,05	2,99
B26	CS1 - L160X15	0,000	Komb. 6.10b/4	61,15	<b>-17,03</b>	5,32
B26	CS1 - L160X15	3,010	Komb. 6.10b/4	61,25	<b>19,39</b>	<b>8,87</b>
B26	CS1 - L160X15	1,405	Komb. 6.10b/4	61,20	-0,04	<b>-6,67</b>

Vnitřní síly byly vypočítány pomocí programu Scia Engineer.

$$N_{rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{4,606 * 10^{-3} * 355 * 10^6}{1,0} = 1635,13 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{ed}}{N_{rd}} \leq 1,0 \rightarrow \frac{63,68}{1635,13} \leq 1,0 \rightarrow 0,0389 \leq 1,0 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

## 5.4.2 Dolní pás

Je navržen z profilu L130/12.

Průřez:	L130/12	
h=	0,13	m
b=	0,13	m
t=	0,012	m
A=	0,002754	m <sup>2</sup>
A <sub>L</sub> =	0,4688	m <sup>2</sup>
I <sub>y</sub> =	1,51E-06	m <sup>4</sup>
I <sub>z</sub> =	7,51E-06	m <sup>4</sup>
W <sub>el,y</sub> =	3,14E-08	m <sup>3</sup>
W <sub>el,z</sub> =	6,89E-08	m <sup>3</sup>

Materiál:

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

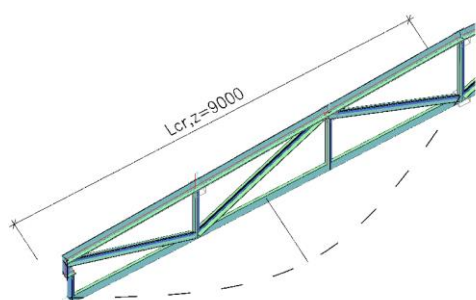
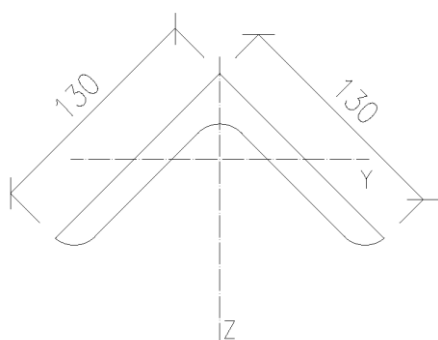
$$E = 210 \text{ GPa}$$

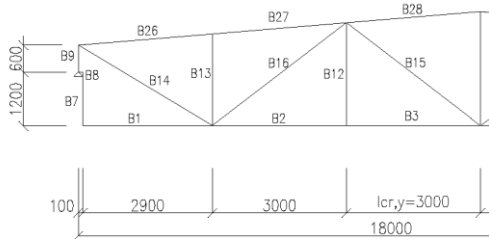
Zatřídění průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

$$\frac{c}{t} < 15 * \varepsilon \rightarrow \frac{120}{12} < 15 * 0,81 \rightarrow 10,00 < 12,15 \rightarrow 3. \text{ Třída}$$

Součinitel  $\alpha = 0,34$ , podle křivky b.





Posouzení na tah, je posouzen prut B3, kde vzniká největší tahová síla  $N_{ed} = 623,45 \text{ kN}$ .

Prvek	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vz [kN]	My [kNm]
B9	CS2 - L130X12	0,000	Komb. 6.10a/1	<b>-350,23</b>	-9,05	-5,99
B3	CS2 - L130X12	0,000	Komb. 6.10a/1	<b>623,45</b>	0,09	1,06
B7	CS2 - L130X12	0,000	Komb. 6.10a/1	3,18	<b>-9,05</b>	4,51
B1	CS2 - L130X12	0,000	Komb. 6.10a/1	9,05	<b>3,18</b>	-4,51
B9	CS2 - L130X12	0,600	Komb. 6.10a/1	-350,04	-9,05	<b>-11,42</b>
B8	CS2 - L130X12	0,000	Komb. 6.10a/1	9,05	-3,55	<b>6,35</b>

Vnitřní síly byly vypočítány pomocí programu Scia Engineer.

$$N_{rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2,754 * 10^{-3} * 355 * 10^6}{1,0} = 977,67 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{ed}}{N_{rd}} \leq 1,0 \rightarrow \frac{621,75}{977,67} \leq 1,0 \rightarrow 0,636 \leq 1,0 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Posouzení na tlak:

Posouzení na tlak, je posouzen prut B9, kde vzniká největší tlaková síla  $N_{ed} = 74,23 \text{ kN}$ . Kritické délky  $l_{cr,y} = 3000 \text{ mm}$ ,  $l_{cr,z} = 9000 \text{ mm}$ .

Prvek	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vz [kN]	My [kNm]
B9	CS2 - L130X12	0,000	Komb. 6.10b/3	<b>-74,23</b>	-1,95	-1,19
B3	CS2 - L130X12	0,000	Komb. 6.10b/3	<b>133,07</b>	0,32	0,08
B7	CS2 - L130X12	0,000	Komb. 6.10b/3	0,93	<b>-1,95</b>	1,03
B7	CS2 - L130X12	0,000	Komb. 6.10b/4	-0,32	<b>2,89</b>	-1,05
B8	CS2 - L130X12	0,100	Komb. 6.10b/4	-2,89	-0,03	<b>-2,41</b>
B9	CS2 - L130X12	0,600	Komb. 6.10b/4	55,86	0,15	<b>2,51</b>

Vnitřní síly byly vypočítány pomocí programu Scia Engineer.

Poloměry setrvačnosti:

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{7,51 * 10^{-6}}{2,754 * 10^{-3}}} = 0,0522 \text{ m}$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{1,51 * 10^{-6}}{2,754 * 10^{-3}}} = 0,0234 \text{ m}$$

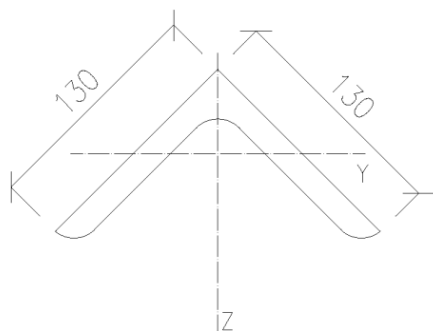
$$i_p = \sqrt{i_z^2 + i_y^2 + a^2} = \sqrt{0,0522^2 + 0,0234^2 + 0,0515^2} = 0,077 \text{ m}$$

Kritická štíhlost:

$$\lambda_y = \frac{l_{cr,y}}{i_y} = \frac{3,0}{0,02342} = 128,119$$

$$\lambda_z = \frac{l_{cr,z}}{i_z} = \frac{9,0}{0,0460} = 172,347$$





Poměrné štíhlosti:

$$\lambda_1 = 93,9 * \varepsilon = 93,9 * 0,81 = 76,399$$

$$\overline{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{128,119}{76,399} = 1,677$$

$$\overline{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{172,347}{76,399} = 2,255$$

$$\phi_y = 0,5 * \left[ 1 + \alpha_1 * (\overline{\lambda}_y - 0,2) + \overline{\lambda}_y^2 \right] = 0,5 * \left[ 1 + 0,34 * (1,677 - 0,2) + 1,677^2 \right] = 2,157$$

$$\phi_z = 0,5 * \left[ 1 + \alpha_1 * (\overline{\lambda}_z - 0,2) + \overline{\lambda}_z^2 \right] = 0,5 * \left[ 1 + 0,34 * (2,255 - 0,2) + 2,255^2 \right] = 3,393$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \overline{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{2,157 + \sqrt{2,157^2 - 1,677^2}} = 0,285$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \overline{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{3,393 + \sqrt{3,393^2 - 2,255^2}} = 0,169$$

$$\min(\chi_y; \chi_z) = \min(0,285; 0,134) = 0,134$$

Únosnost na prostorový vzpěr:

$$N_{b,rd} = \frac{\chi_z * A * f_y}{\gamma_{m1}} = \frac{0,169 * 2,754 * 10^{-3} * 355 * 10^6}{1,00} = 164,913 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{ed}}{N_{b,rd}} < 1,0 \rightarrow \frac{74,23}{164,913} < 1,0 \rightarrow 0,450 < 1,0 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

### 5.4.3 Diagonála B16

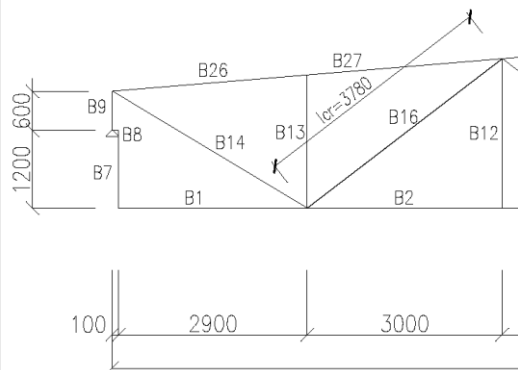
Diagonála je navržena jako úhelník 130/16.

Průřez:	L130/16	
h=	0,13	m
b=	0,13	m
t=	0,016	m
A=	0,003925	m <sup>2</sup>
A <sub>L</sub> =	0,4688	m <sup>2</sup>
I <sub>y</sub> =	0,0000025	m <sup>4</sup>
I <sub>z</sub> =	0,0000096	m <sup>4</sup>
W <sub>el,y</sub> =	4,66E-06	m <sup>3</sup>
W <sub>el,z</sub> =	0,0000104	m <sup>3</sup>

Materiál:

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$E = 210 \text{ GPa}$$



Zatřídění průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

$$\frac{c}{t} < 15 * \varepsilon \rightarrow \frac{100}{10} < 15 * 0,81 \rightarrow 10,00 < 12,15 \rightarrow 3. \text{ Třída}$$

Součinitel  $\alpha=0,34$  podle křivky  $b$

Posouzení na tlak, je posouzen prut B16, kde vzniká největší tlaková síla  $N_{ed} = 223,66 \text{ kN}$ . Kritické délky  $l_{cr,y} = 3780 \text{ mm}$ ,  $l_{cr,z} = 3780 \text{ mm}$ .

Prvek	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vz [kN]	My [kNm]
B16	CS4 - L(ARC)130x130x16	0,000	Komb. 6.10a/1	<b>-223,66</b>	<b>0,90</b>	-0,16
B16	CS4 - L(ARC)130x130x16	3,780	Komb. 6.10a/2	<b>-55,64</b>	<b>-0,54</b>	-0,05
B16	CS4 - L(ARC)130x130x16	0,000	Komb. 6.10a/2	-56,58	0,69	<b>-0,33</b>
B16	CS4 - L(ARC)130x130x16	2,785	Komb. 6.10a/1	-222,96	0,00	<b>1,10</b>

Vnitřní síly byly vypočítány pomocí programu Scia Engineer.

Poloměry setrvačnosti:

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{9,6 * 10^{-6}}{3,925 * 10^{-3}}} = 0,0495 \text{ m}$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{2,5 * 10^{-6}}{3,925 * 10^{-3}}} = 0,0252 \text{ m}$$

Kritická štíhlost:

$$\lambda_y = \frac{l_{cr,y}}{i_y} = \frac{3,78}{0,0252} = 76,432$$

$$\lambda_z = \frac{l_{cr,z}}{i_z} = \frac{3,78}{0,0495} = 149,776$$

Poměrné štíhlosti:

$$\lambda_1 = 93,9 * \varepsilon = 93,9 * 0,81 = 76,399$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{76,432}{76,399} = 1,96$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{149,776}{76,399} = 1,003$$

$$\phi_y = 0,5 * \left[ 1 + \alpha_1 * (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2 \right] = 0,5 * \left[ 1 + 0,34 * (1,96 - 0,2) + 1,96^2 \right] = 2,72$$

$$\phi_z = 0,5 * \left[ 1 + \alpha_1 * (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2 \right] = 0,5 * \left[ 1 + 0,34 * (1,003 - 0,2) + 1,003^2 \right] = 1,136$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y^2}} = \frac{1}{2,72 + \sqrt{2,72^2 - 1,96^2}} = 0,217$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \lambda_z^2}} = \frac{1}{1,136 + \sqrt{1,136^2 - 1,003^2}} = 0,596$$

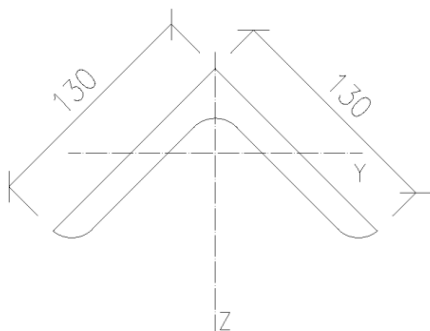
$$\min(\chi_y; \chi_z) = \min(0,217; 0,596) = 0,217$$

Únosnost na vzpěr:

$$N_{b,rd} = \frac{\chi_y * A * f_y}{\gamma_{m1}} = \frac{0,217 * 3,925 * 10^{-3} * 355 * 10^6}{1,00} = 302,467 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{ed}}{N_{b,rd}} < 1,0 \rightarrow \frac{223,66}{302,467} < 1,0 \rightarrow 0,737 < 1,0 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Vzniklou tahovou silou  $N_{ed}=7,05 \text{ kN}$ , pás přenesl, viz výpočet prvku B14.



#### 5.4.4 Diagonála B14

Diagonála je navržena jako dvojice úhelníků L130/16

Průřez:	L130/16	
h=	0,13	m
b=	0,13	m
t=	0,016	m
A=	0,003925	m <sup>2</sup>
A <sub>L</sub> =	0,4688	m <sup>2</sup>
I <sub>y</sub> =	0,0000025	m <sup>4</sup>
I <sub>z</sub> =	0,0000096	m <sup>4</sup>
W <sub>el,y</sub> =	4,66E-06	m <sup>3</sup>
W <sub>el,z</sub> =	0,0000104	m <sup>3</sup>

Materiál:

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$E = 210 \text{ GPa}$$

Zatřídění průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

$$\frac{c}{t} < 15 * \varepsilon \rightarrow \frac{100}{10} < 15 * 0,81 \rightarrow 10,00 < 12,15 \rightarrow 3. \text{ Třída}$$

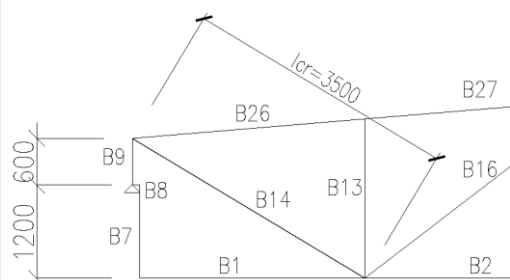
Posouzení na tah, je posouzen prut B14, kde vzniká největší tahová síla  $N_{ed} = 507,25 \text{ kN}$

Prvek	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vz [kN]	My [kNm]
B14	CS4 - L(ARC)130x130x16	3,499	Komb. 6.10a/2	<b>126,43</b>	-1,21	-0,88
B14	CS4 - L(ARC)130x130x16	0,000	Komb. 6.10a/1	<b>507,25</b>	-1,94	<b>6,30</b>
B14	CS4 - L(ARC)130x130x16	3,499	Komb. 6.10a/1	506,52	<b>-3,17</b>	<b>-2,64</b>
B14	CS4 - L(ARC)130x130x16	0,000	Komb. 6.10a/2	127,16	<b>0,02</b>	1,21

Vnitřní síly byly vypočítány pomocí programu Scia Engineer.

$$N_{rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3,925 * 10^{-3} * 355 * 10^6}{1,0} = 1393,375 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{ed}}{N_{rd}} \leq 1,0 \rightarrow \frac{507,25}{1393,375} \leq 1,0 \rightarrow 0,364 \leq 1,0 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$



Posouzení na tlak, je posouzen prut B14, kde vzniká příslušná tlaková síla  $N_{ed} = 68,93 \text{ kN}$ . Kritické délky  $l_{cr,y} = 3500 \text{ mm}$ ,  $l_{cr,z} = 3500 \text{ mm}$ .

Prvek	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vz [kN]	My [kNm]
B14	CS4 - L(ARC)130x130x16	3,499	Komb. 6.10b/4	<b>-68,93</b>	0,51	0,81
B14	CS4 - L(ARC)130x130x16	0,000	Komb. 6.10b/3	<b>108,32</b>	0,01	<b>1,03</b>
B14	CS4 - L(ARC)130x130x16	3,499	Komb. 6.10b/3	107,70	<b>-1,03</b>	-0,75
B14	CS4 - L(ARC)130x130x16	0,000	Komb. 6.10b/4	-68,30	<b>1,56</b>	<b>-2,81</b>

Vnitřní síly byly vypočítány pomocí programu Scia Engineer.

Poloměry setrvačnosti:

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{9,6 * 10^{-6}}{3,925 * 10^{-3}}} = 0,0495 \text{ m}$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{2,5 * 10^{-6}}{3,925 * 10^{-3}}} = 0,0252 \text{ m}$$

Kritická štíhlost:

$$\lambda_y = \frac{l_{cr,y}}{i_y} = \frac{3,5}{0,0495} = 138,681$$

$$\lambda_z = \frac{l_{cr,z}}{i_z} = \frac{3,5}{0,0252} = 70,77$$

Poměrné štíhlosti:

$$\lambda_1 = 93,9 * \varepsilon = 93,9 * 0,81 = 76,399$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{138,681}{76,399} = 1,815$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{70,77}{76,399} = 0,926$$

$$\phi_y = 0,5 * [1 + \alpha_1 * (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 * [1 + 0,34 * (1,815 - 0,2) + 1,815^2] = 2,421$$

$$\phi_z = 0,5 * [1 + \alpha_1 * (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 * [1 + 0,34 * (0,926 - 0,2) + 0,926^2] = 1,052$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y^2}} = \frac{1}{2,421 + \sqrt{2,421^2 - 1,815^2}} = 0,248$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \lambda_z^2}} = \frac{1}{1,052 + \sqrt{1,052^2 - 0,926^2}} = 0,664$$

$$\min(\chi_y; \chi_z) = \min(0,248; 0,664) = 0,248$$

Únosnost na vzpěr:

$$N_{b,rd} = \frac{\chi_y * A * f_y}{\gamma_{m1}} = \frac{0,248 * 3,925 * 10^{-3} * 355 * 10^6}{1,00} = 346,198 kN$$

$$\frac{N_{ed}}{N_{b,rd}} < 1,0 \rightarrow \frac{68,93}{346,198} < 1,0 \rightarrow 0,199 < 1,0 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

#### 5.4.5 Posouzení přípoje diagonály na horní pás

Posuzovaný přípoj je ten, ve kterém vzniká maximální normálová síla.

Svarový spoj bude proveden na desku o tloušťce 12mm.

Materiál svaru:		
Ocel	S450	
fu=	550	MPa
βw=	0,9	
Ym=	1,25	
as=	8	mm
ls=	250	mm

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_{ed}}{2 * l_s * a_s} = \frac{507,25 * 10^3}{2 * 250 * 8} = 126,812 MPa$$

$$M_{ed} = N_{ed} * e = 507,25 * 0,053 = 26,88 kNm$$

$$\sigma_M = \frac{6 * M_{ed}}{2 * l_s^2 * a_s} = \frac{6 * 26,884 * 10^6}{2 * 250^2 * 8} = 161,304 MPa$$

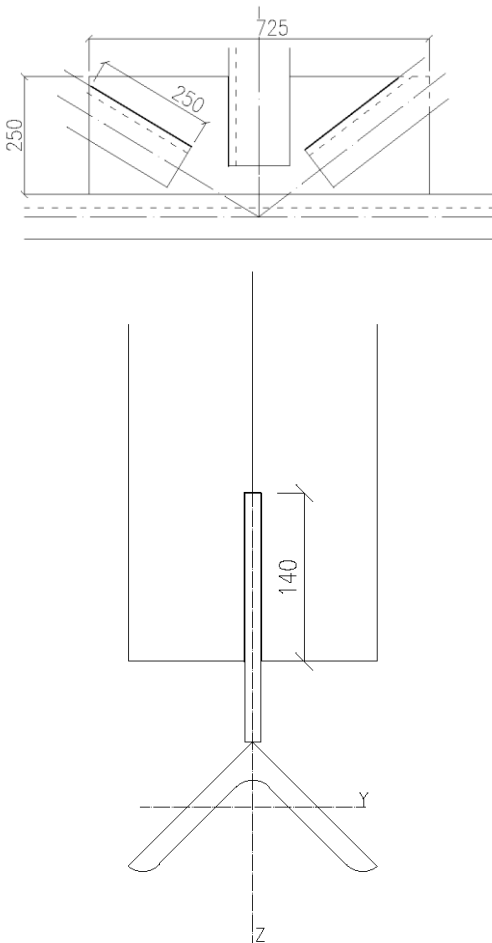
$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_M}{\sqrt{2}} = \frac{161,304}{\sqrt{2}} = 114,059 MPa$$

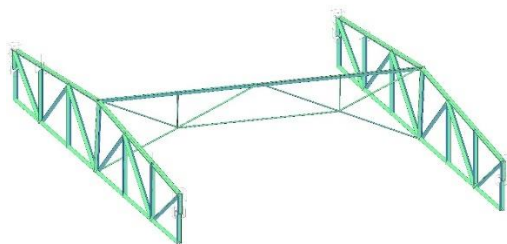
Posouzení:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 * (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{m2}}$$

$$\sqrt{114,059^2 + 3 * (114,059^2 + 126,812^2)} \leq \frac{550}{0,9 * 1,25}$$

$$316,672 MPa \leq 488,889 MPa \rightarrow \text{Vyhovuje}$$





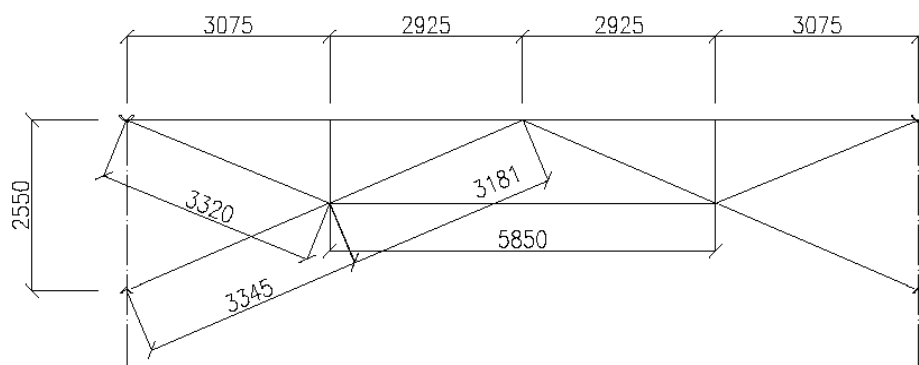
## 6. Podélné ztužidlo

Ztužidlo probíhá po celé délce haly. Slouží k zajištění vazníku v době montáže, před osazením vaznic a střešního pláště. Dále je určeno ke zkrácení vzpěrné délky pásů vazníku.

Ztužidlo je navrženo ze stejných profilů jako vaznice.

Horní pás z profilu T120, diagonály z profilu L50/5, materiál oceli S235.

### 6.1 Geometrie



### 6.2 Zatížení

Podélné ztužidlo je zatíženo od vybočení dolních pásů vazníků. Sílu uvažují 1/100 tlakové síly ve spodním pásu. Tedy silou 0,74 kN.

Posouzení štíhlosti pro kritickou délku  $l_{cr}=3345 \text{ mm}$ .

Poloměry setrvačnosti:

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{0,174 \cdot 10^{-6}}{0,48 \cdot 10^{-3}}} = 0,019 \text{ m}$$

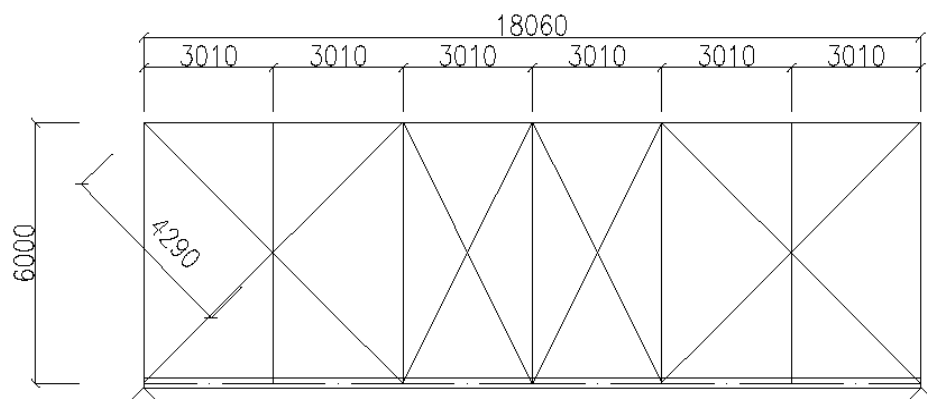
Kritická štíhlost:

$$\lambda_y = \frac{l_{cr,y}}{i_y} = \frac{3,345}{0,019} = 175,688 < 180 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

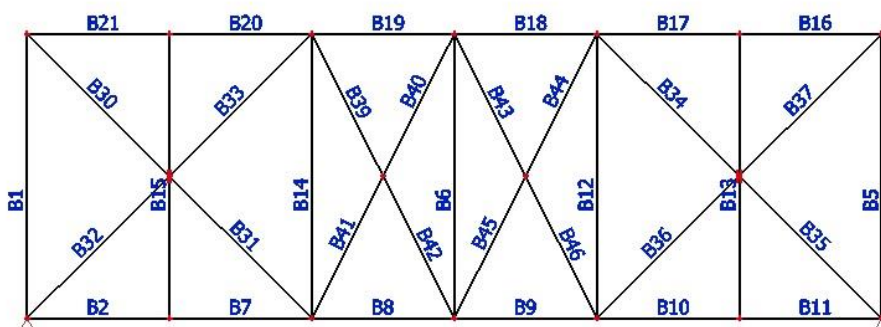
## 7. Příčná ztužidla

Příčné ztužidla přenášejí účinky větru působícího na štítové stěny budovy. Zatížení od tření větru je zanedbáno z důvodu minimálních účinků.

### 7.1 Geometrie:

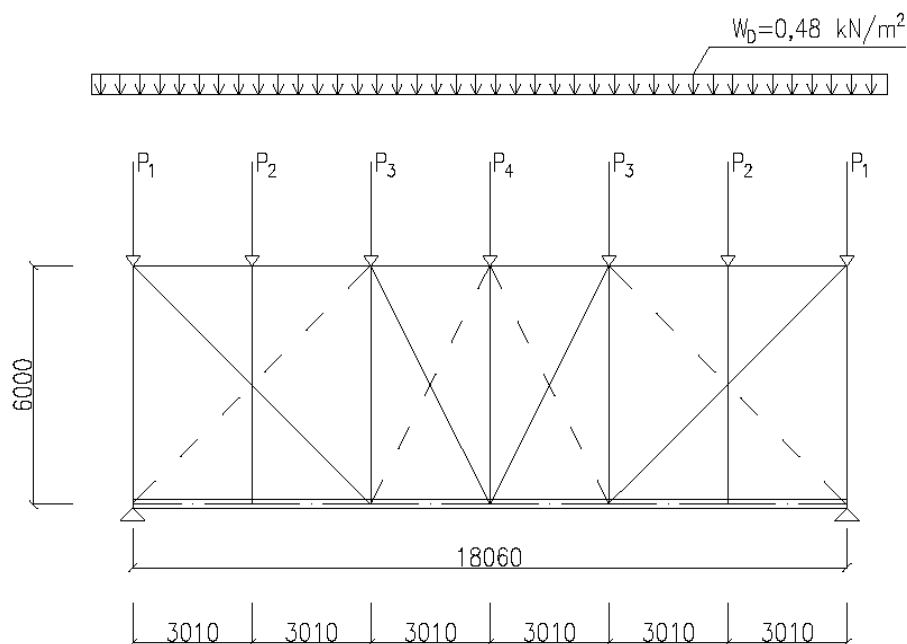


Označení prutů:



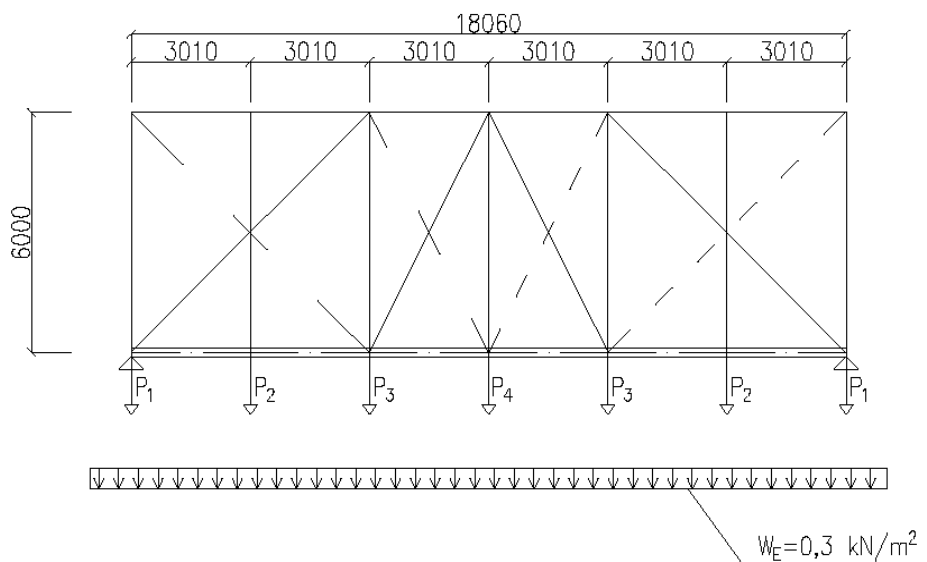
## 7.2 Rozvržení sil

### Tlakové zatížení



Zatížení - Tlak					
	Šířka [m]	Výška [m]	Zatěžovací plocha [m²]	Tlak větru pro oblast D [kN/m²]	Výsledná charakteristická hodnota:
P1	2,54	9,6800	24,5872	0,4842	11,9051
P2	3,01	9,6800	29,1368	0,4842	14,1080
P3	3,01	9,6800	29,1368	0,4842	14,1080
P4	3,01	9,6800	29,1368	0,4842	14,1080

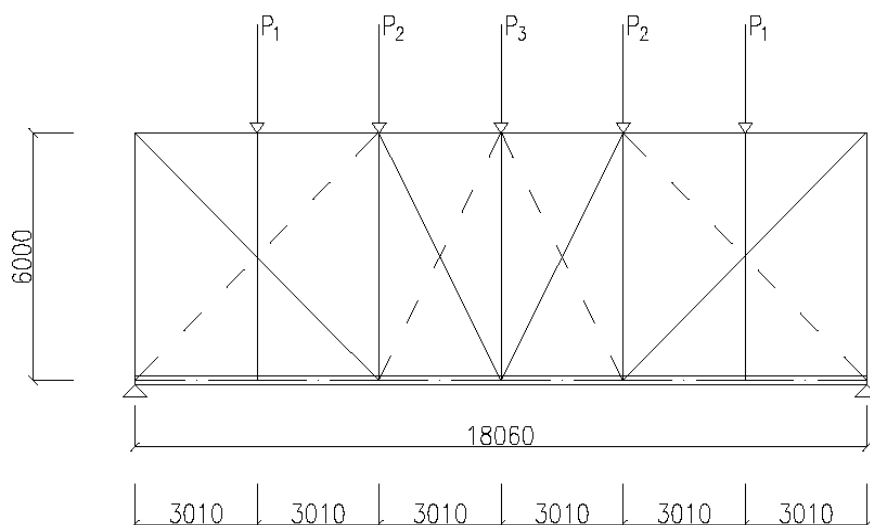
### Tahové zatížení:



Zatížení - Tah					
	Šířka [m]	Výška [m]	Zatěžovací plocha [m²]	Tah větru pro oblast E [kN/m²]	Výsledná charakteristická hodnota:
P1	2,54	9,6800	24,5872	0,30026	7,3826
P2	3,01	9,6800	29,1368	0,30026	8,7486
P3	3,01	9,6800	29,1368	0,30026	8,7486
P4	3,01	9,6800	29,1368	0,30026	8,7486



V místech pásu zajištěných ztužidlem proti vybočení jsou zavedeny síly působící kolmo k rovině vazníku o velikosti 1/100 osové síly působící v zajišťovaném horním pásu vazníku.



Břemena v místech zajišťovaných vazníků:					
Počet ztužidlem zajišťovaných vazníků: n=2,5					
Prvek		n	Síla v prutu vazníku	Síla v prutu vazníku	Celkem [kN]
P1	0,01	2,5	450,95	461,96	17,048
P2	0,01	2,5	461,96	657,56	19,769
P3	0,01	2,5	657,56	657,56	24,659

Výsledné síly v příčném ztužidle:

Vnitřní síly byly vypočítány pomocí programu Scia Engineer.

Síly od sání		
Prvek	Ozn. Prutu	Síla [kN]
Horní pás	B19	18,39
Diagonála	B32	16,24
Svislice	B1	17,61
Horní pás vazníku	B8	18,87
Síly od tlaku		
Prvek	Ozn. Prutu	Síla [kN]
Horní pás	B19	29,66
Diagonála	B32	26,19
Svislice	B1	28,4
Horní pás vazníku	B8	30,43
Síly od vazníků		
Prvek	Ozn. Prutu	Síla [kN]
Horní pás	B19	43,72
Diagonála	B32	35,58
Svislice	B1	23,66
Horní pás vazníku	B8	43,87
Extrém		
Prvek	Ozn. Prutu	Síla [kN]
Horní pás	B19	73,38
Diagonála	B32	61,77
Svislice	B1	52,06
Horní pás vazníku	B8	74,3

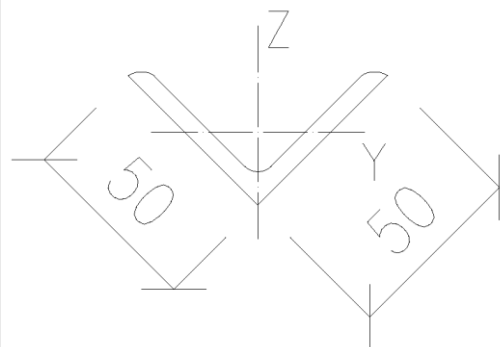
## 7.3 Dimenzování

### 7.3.1 Diagonála

Diagonála je navržena jako profil L50/5, kritická délka  $l_{cr}=4,29\text{ m}$ .

Uvažuji, že diagonála působí pouze na tahové namáhání.

pro síly:  $N_{ed}=61,77\text{ kN}$



Průřez:	L50/50/5	
h=	0,05	m
b=	0,05	m
t=	0,005	m
A=	0,00048	m <sup>2</sup>
A <sub>L</sub> =	0,194	m <sup>2</sup>
I <sub>y</sub> =	1,74E-07	m <sup>4</sup>
I <sub>z</sub> =	4,52E-07	m <sup>4</sup>
I <sub>t</sub> =	4,065E-09	m <sup>4</sup>
W <sub>el,y</sub> =	4,925E-06	m <sup>3</sup>
W <sub>el,z</sub> =	2,275E-06	m <sup>3</sup>

Materiál:

$$f_y=235\text{ MPa}$$

$$E=210\text{ GPa}$$

Posouzení poměrné štíhlosti:

Poloměry setrvačnosti:

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{0,174 \cdot 10^{-6}}{0,48 \cdot 10^{-3}}} = 0,019\text{ m}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{4,52 \cdot 10^{-5}}{0,48 \cdot 10^{-3}}} = 0,0301\text{ m}$$

Kritická štíhlost:

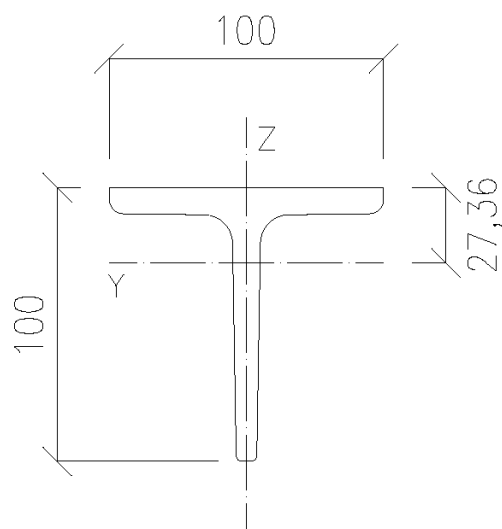
$$\lambda_y = \frac{l_{cr,y}}{i_y} = \frac{4,29}{0,019} = 225,321\text{ kN} \leq 300\text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

$$\lambda_z = \frac{l_{cr,z}}{i_z} = \frac{4,290}{0,0301} = 139,80\text{ kN} \leq 300\text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Posouzení na tah:  $\leq 300\text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovuje}$

$$N_{rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,48 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 112,800\text{ kN}$$

$$\frac{N_{ed}}{N_{rd}} \leq 1,0 \rightarrow \frac{61,77}{112,8} \leq 1,0 \rightarrow 0,547 \leq 1,0 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$



### 7.3.2 Pás příčného ztužidla

Pás příčného ztužidla je navržený jako profil T100, kritická délka  $l_{cr} = 3,01 \text{ m}$ , pro síly:  $N_{ed} = 73,38 \text{ kN}$

Průřez:	T100	
$h =$	0,1	m
$b =$	0,1	m
$t =$	0,011	m
$A =$	0,00209	$\text{m}^2$
$A_L =$	0,383	$\text{m}^2$
$I_y =$	1,79E-06	$\text{m}^4$
$I_z =$	8,83E-07	$\text{m}^4$
$I_t =$	9,22E-08	$\text{m}^4$
$W_{el,y} =$	0,0000246	$\text{m}^3$
$W_{el,z} =$	0,0000177	$\text{m}^3$
$G =$	8,1E+10	
$A_y =$	0,0012648	$\text{m}^2$
$A_z =$	0,0010713	$\text{m}^2$
$I_w =$	3,47E-40	$\text{m}^6$
$W_{pl,y} =$	4,615E-05	$\text{m}^3$
$W_{pl,z} =$	2,946E-05	$\text{m}^3$

Materiál:

$$f_y = 235 \text{ MPa}$$

$$E = 210 \text{ GPa}$$

Zatřídění průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,00$$

$$\frac{c}{t} < 9 * \varepsilon \rightarrow \frac{107}{13} < 9 * 1,00 \rightarrow 8,31 < 9,00 \rightarrow 1. \text{ Třída}$$

Součinitel  $\alpha = 0,49$ , podle křivky  $c$

Poloměry setrvačnosti:

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{0,883 * 10^{-6}}{2,09 * 10^{-3}}} = 0,02055 \text{ m}$$

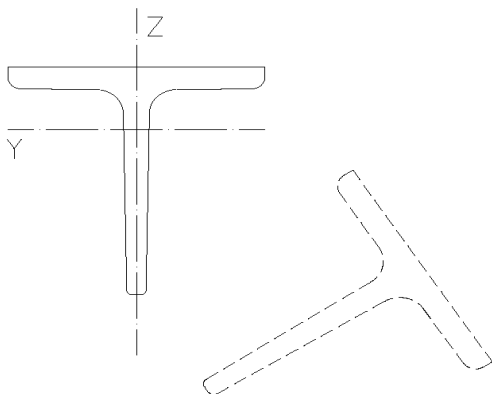
$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{1,79 * 10^{-6}}{2,09 * 10^{-3}}} = 0,02927 \text{ m}$$

$$i_p = \sqrt{i_z^2 + i_y^2 + t^2} = \sqrt{0,02055^2 + 0,02927^2 + 0,033^2} = 0,0467 \text{ m}$$

Kritická štíhlost:

$$\lambda_y = \frac{l_{cr,y}}{i_y} = \frac{3,01}{0,02927} = 102,85$$

$$\lambda_z = \frac{l_{cr,z}}{i_z} = \frac{3,01}{0,02055} = 146,44$$



Kritické síly y, z:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 * E * I_y}{l_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 * 210 * 10^9 * 1,79 * 10^{-6}}{3,01^2} = 409,486 * 10^3 N$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 * E * I_z}{l_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 * 210 * 10^9 * 0,883 * 10^{-6}}{3,01^2} = 201,998 * 10^3 N$$

Kritické síly pro prostorový vzpěr:

$$y_0 = 0 \text{ m}$$

$$z_0 = 0,02736 \text{ m}$$

$y_0, z_0$  - souřadnice středu smyku vztažené k těžišti plného průřezu

$$i_0^2 = i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2 = 0,02055^2 + 0,02927^2 + 0^2 + 0,02736^2 = 0,0467$$

$$\begin{aligned} N_{cr,T} &= \frac{1}{i_0^2} * \left( G * I_t + \frac{\pi^2 * E * I_w}{l_{cr,T}^2} \right) \\ &= \frac{1}{0,046^2} \\ &\quad * \left( 81 * 10^9 * 0,92 * 10^{-7} + \frac{\pi^2 * 210 * 10^9 * 3,47 * 10^{-40}}{3,01^2} \right) \\ &= 3427,434 kN \end{aligned}$$

$$\beta = 1 - \left( \frac{z_0}{i_0} \right)^2 = 1 - \left( \frac{0,02736}{0,0467} \right)^2 = 0,587$$

$$\begin{aligned} N_{cr,TF} &= \frac{N_{cr,z}}{2 * \beta} \left[ 1 + \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,z}} - \sqrt{\left( 1 - \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,z}} \right)^2 + 4 * \left( \frac{z_0}{y_0} \right)^2 * \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,z}}} \right] = \\ &= \frac{201,998 * 10^3}{2 * 0,587} \\ &\quad * \left[ 1 + \frac{3427,434 * 10^6}{201,998 * 10^3} \right. \\ &\quad \left. - \sqrt{\left( 1 - \frac{3427,434 * 10^6}{201,998 * 10^3} \right)^2 + 4 * \left( \frac{0,02736}{0,0467} \right)^2 * \frac{3427,434 * 10^6}{201,998 * 10^3}} \right] = \\ &= 197,034 kN \end{aligned}$$

$$N_{cr,T} > N_{cr,TF} \rightarrow 3427,434 kN > 197,034 kN \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Poměrné štíhlosti:

$$\lambda_1 = 93,9 * \varepsilon = 93,9 * 1,0 = 93,9$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{102,852}{93,9} = 1,095$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{146,44}{93,9} = 1,559$$

$$\bar{\lambda}_T = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr,TF}}} = \sqrt{\frac{2,09 * 10^{-3} * 235 * 10^6}{197034}} = 1,57$$

$$\begin{aligned}\phi_y &= 0,5 * [1 + \alpha_1 * (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] \\ &= 0,5 * [1 + 0,49 * (1,095 - 0,2) + 1,095^2] = 1,319 \\ \phi_z &= 0,5 * [1 + \alpha_1 * (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] \\ &= 0,5 * [1 + 0,49 * (1,559 - 0,2) + 1,559^2] = 2,048 \\ \phi_T &= 0,5 * [1 + \alpha_1 * (\bar{\lambda}_T - 0,2) + \bar{\lambda}_T^2] \\ &= 0,5 * [1 + 0,49 * (1,57 - 0,2) + 1,57^2] = 2,084\end{aligned}$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\begin{aligned}\chi_y &= \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,319 + \sqrt{1,319^2 - 1,095^2}} = 0,486 \\ \chi_z &= \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{2,048 + \sqrt{2,048^2 - 1,559^2}} = 0,296 \\ \chi_T &= \frac{1}{\phi_T + \sqrt{\phi_T^2 - \bar{\lambda}_T^2}} = \frac{1}{2,084 + \sqrt{2,084^2 - 1,57^2}} = 0,243\end{aligned}$$

$$\min(\chi_y; \chi_z; \chi_T) = \min(0,486; 0,296; 0,243) = 0,243$$

Únosnost na prostorový vzpěr:

$$\begin{aligned}N_{b,rd,T} &= \frac{\chi_T * A * f_y}{\gamma_{m1}} = \frac{0,243 * 2,09 * 10^{-3} * 235 * 10^6}{1,00} = 119,503 \text{ kN} \\ \frac{N_{ed}}{N_{b,rd,T}} &< 1,0 \rightarrow \frac{73,38}{119,503} < 1,0 \rightarrow 0,614 < 1,0 \rightarrow \text{Vyhovuje}\end{aligned}$$

Tahová únosnost:

$$\begin{aligned}N_{rd} &= \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2,09 * 10^{-3} * 235 * 10^6}{1,0} = 491,15 \text{ kN} \\ \frac{N_{ed}}{N_{rd}} &\leq 1,0 \rightarrow \frac{73,38}{491,15} \leq 1,0 \rightarrow 0,149 \leq 1,0 \rightarrow \text{Vyhovuje}\end{aligned}$$

Ohybová únosnost:

$$\begin{aligned}M_{pl,y,Rd} &= \frac{\chi_{LT} * w_{pl,y} * f_y}{\gamma_{m1}} = \frac{1 * 4,615 * 10^{-5} * 235 * 10^6}{1} = 10,845 \text{ kN} \\ \frac{M_{ed}}{M_{pl,y,Rd}} &< 1,0 \rightarrow \frac{0,45}{10,845} < 1,0 \rightarrow 0,041 < 1,0 \rightarrow \text{Vyhovuje}\end{aligned}$$

Kombinace osového tlaku a ohybu:

$$\begin{aligned}C_{m,LT} &= 1,0; w_y = \frac{w_{pl,y}}{w_{pl,z}} = 1,87 \leq 1,5; w_z = \frac{w_{pl,z}}{w_{pl,y}} = 1,664 \leq 1,5 \\ C_{mz} &= 1 + 0,3 * \frac{N_{ed}}{N_{cr,z}} = 1 + 0,3 * \frac{73,38}{201,998} = 1,109 \\ \mu_y &= \frac{1 - \frac{N_{ed}}{N_{cr,y}}}{1 - \chi_y * \frac{N_{ed}}{N_{cr,y}}} = \frac{1 - \frac{73,38}{409,486}}{1 - 0,486 * \frac{73,38}{409,486}} = 0,899 \\ C_{yz} &= 1 + (w_z - 1) * \left[ \left( 2 - 14 * \frac{C_{mz}^2 * \bar{\lambda}_{max}^2}{w_z^5} \right) n_{pl} - C_{LT} \right] \geq 0,6 * \sqrt{\frac{w_z}{w_y}} * \frac{w_{pl,y}}{w_{pl,z}}\end{aligned}$$

$$C_{yz} = 1 + (1,5 - 1) * \left[ \left( 2 - 14 * \frac{1,109^2 * 1,57^2}{1,5^2} \right) 0,435 - 1 \right]$$

$$\geq 0,6 \sqrt{\frac{1,5}{1,5} * \frac{4,615 * 10^{-5}}{2,946 * 10^{-5}}}$$

$$0,753 \geq 0,360$$

$$k_{yz} = C_{mz} * \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{ed}}{N_{cr,z}}} \frac{1}{C_{yz}} 0,6 \sqrt{\frac{w_z}{w_y}} = 1,13 * \frac{0,899}{1 - \frac{73,38}{201,998}} \frac{1}{0,753} 0,6 \sqrt{\frac{1,5}{1,5}}$$

$$= 1,247$$

$$\frac{N_{ed}}{\chi_z * N_{Rk,z}} + k_{yz} * \frac{M_{ed}}{M_{pl,y,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{\gamma_{M1}}{73,38} \frac{0,296 * 2,09 * 10^{-3} * 235 * 10^6}{1,0} + 1,247 * \frac{0,45}{10,845} \leq 1,0$$

$$0,307 \leq 1,0 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

### 7.3.3 Posouzení vaznic

Horní pás vaznice je zároveň svislicí příčného ztužidla.

Síla přidaná na horní pás vaznice je  $N_{ed} = 52,06 \text{ kN}$

Celková síla na horním páse činí:  $N_{ed} = 225,57 \text{ kN}$

Výpočty posouzení viz kapitola vaznice.

Posudky:

Vzpěrná únosnost:							
$N_{pl,Rd,z} =$	279,4121	kN	0,807302	<	1	→	Vyhovuje
$N_{pl,Rd,y} =$	640,8161	kN	0,352004	<	1	→	Vyhovuje

Únosnost na prostorový vzpěr							
$N_{b,Rd} =$	258,1972	kN	0,873635	<	1	→	Vyhovuje

Kom. Ohybu a tlaku posouzení YZ				
0,981337	<	1	→	Vyhovuje

### 7.3.4 Posouzení horního pásu vazníku

Horní pás vazníku je zároveň pásem příčného ztužidla.

Síla přidaná na horní pás vazníku je  $N_{ed} = 74,3 \text{ kN}$

Celková síla na horní pás vazníku:  $N_{ed} = 731,86 \text{ kN}$

Výpočty posouzení viz kapitola vaznice.

Vzpěrná únosnost:							
$N_{pl,Rd,z} =$	1335,832	kN	0,547868	<	1	→	Vyhovuje
$N_{pl,Rd,y} =$	732,229	kN	0,98514	<	1	→	Vyhovuje

Únosnost na prostorový vzpěr							
$N_{b,Rd} =$	732,229	kN	0,98514	<	1	→	Vyhovuje

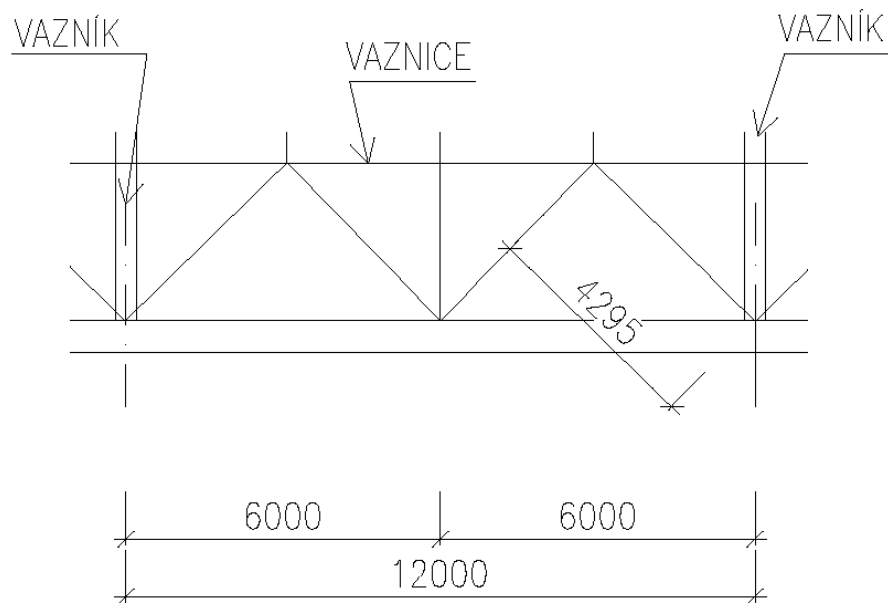
## 8. Okapové ztužidlo:

Příhradové okapové ztužidlo, které je uloženo na sloup.

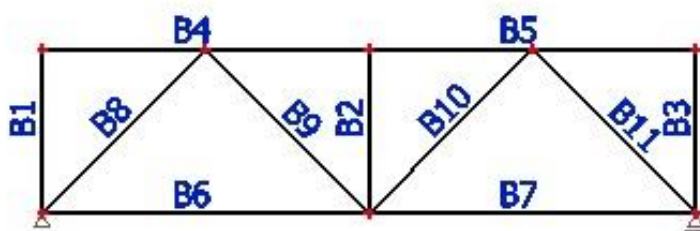
Horní a dolní pás okapového ztužidla je tvořen vaznicí, krajní svislice jsou tvořeny pásem vazníků.

### 8.1 Geometrie

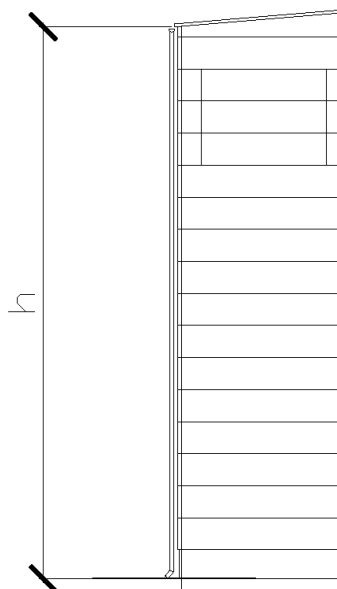
Délka příhradoviny je 12m, výška 3,01m. Kritická délka diagonály je 4,295m. Horní, spodní pás vaznic a pásy svislic vazníků se neposuzují.



Označní prutů:





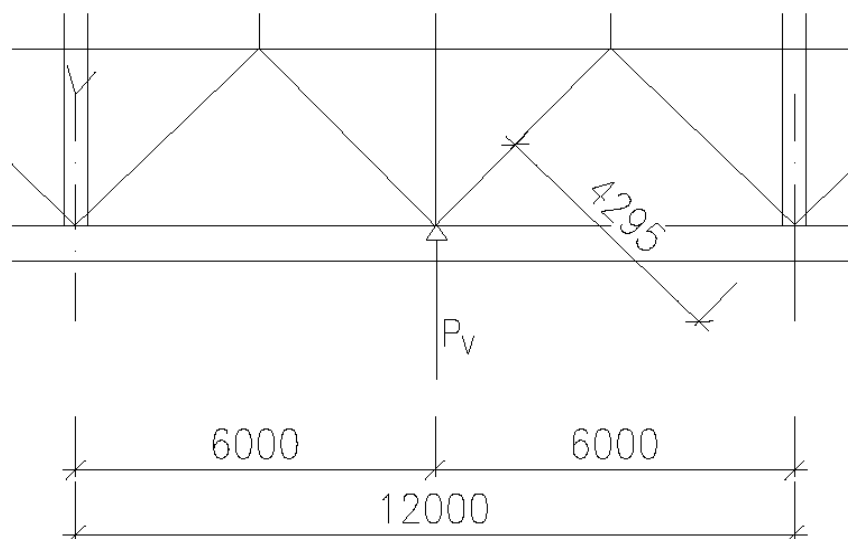


## 8.2 Zatížení

Síla od tlaku větru působící v mezisloupku.

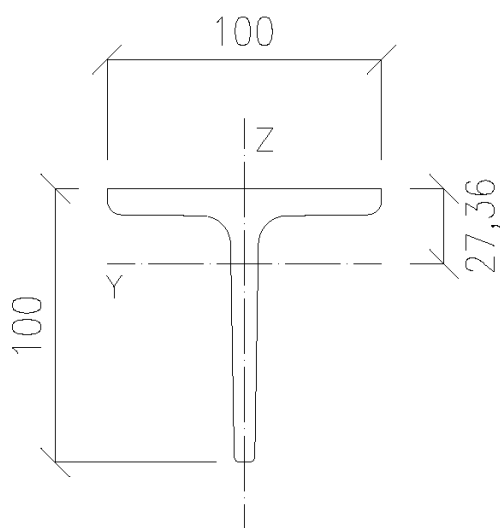
$$P_V = A * w_D = \left(\frac{h}{2} * l\right) * w_D = \left(\frac{18,7}{2} * 12\right) * 0,480 = 53,856 \text{ kN}$$

Schéma zatížení:



## 8.3 Dimenzování

Diagonála okapového ztužidla je navržena jako profil T100, kritická délka  $l_{cr} = 4,95 \text{ m}$ , pro síly:  $N_{ed} = 37,92 \text{ kN}$ .



Prvek	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vz [kN]	My [kNm]
B8	CS6 - T120	0,000	ZS5	<b>37,92</b>	<b>0,01</b>	-0,01
B8	CS6 - T120	4,250	ZS5	<b>37,92</b>	0,01	<b>0,03</b>
B9	CS6 - T120	0,000	ZS5	<b>-37,87</b>	<b>0,00</b>	-0,05
B9	CS6 - T120	4,250	ZS5	-37,87	0,00	<b>-0,06</b>
B10	CS6 - T120	0,000	ZS5	<b>-37,87</b>	0,00	<b>-0,06</b>
B11	CS6 - T120	0,000	ZS5	<b>37,92</b>	-0,01	<b>0,03</b>
B11	CS6 - T120	4,250	ZS5	<b>37,92</b>	-0,01	-0,01

Vnitřní síly byly vypočítány pomocí programu Scia Engineer.

Vlastnosti průřezu:

Průřez:	T100	
h=	0,1	m
b=	0,1	m
t=	0,011	m
A=	0,00209	m <sup>2</sup>
A <sub>L</sub> =	0,383	m <sup>2</sup>
I <sub>y</sub> =	1,79E-06	m <sup>4</sup>
I <sub>z</sub> =	8,83E-07	m <sup>4</sup>
I <sub>t</sub> =	9,22E-08	m <sup>4</sup>
W <sub>el,y</sub> =	0,0000246	m <sup>3</sup>
W <sub>el,z</sub> =	0,0000177	m <sup>3</sup>
G=	8,1E+10	
A <sub>y</sub> =	0,0012648	m <sup>2</sup>
A <sub>z</sub> =	0,0010713	m <sup>2</sup>
I <sub>w</sub> =	3,47E-40	m <sup>6</sup>
W <sub>pl,y</sub> =	4,615E-05	m <sup>3</sup>
W <sub>pl,z</sub> =	2,946E-05	m <sup>3</sup>

Materiál:

$$f_y = 235 \text{ MPa}$$

$$E = 210 \text{ GPa}$$

Zatřídění průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,00$$

$$\frac{c}{t} < 9 * \varepsilon \rightarrow \frac{107}{13} < 9 * 1,00 \rightarrow 8,31 < 9,00 \rightarrow 1. \text{ Třída}$$

Součinitel  $\alpha = 0,49$ , podle křivky c

Poloměry setrvačnosti:

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{0,883 * 10^{-6}}{2,09 * 10^{-3}}} = 0,02055 \text{ m}$$

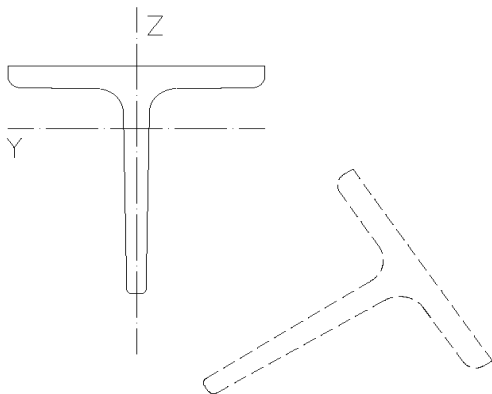
$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{1,79 * 10^{-6}}{2,09 * 10^{-3}}} = 0,02927 \text{ m}$$

$$i_p = \sqrt{i_z^2 + i_y^2 + t^2} = \sqrt{0,02055^2 + 0,02927^2 + 0,033^2} = 0,0467 \text{ m}$$

Kritická štíhlost:

$$\lambda_y = \frac{l_{cr,y}}{i_y} = \frac{3,01}{0,02927} = 102,85$$

$$\lambda_z = \frac{l_{cr,z}}{i_z} = \frac{3,01}{0,02055} = 146,44$$



Kritické síly y, z:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 * E * I_y}{l_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 * 210 * 10^9 * 1,79 * 10^{-6}}{4,295^2} = 201,116 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 * E * I_z}{l_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 * 210 * 10^9 * 0,883 * 10^{-6}}{4,295^2} = 99,206 \text{ kN}$$

Kritické síly pro prostorový vzpěr:

$$y_0 = 0 \text{ m}$$

$$z_0 = 0,02736 \text{ m}$$

$y_0, z_0$  - souřadnice středu smyku vztahované k těžišti plného průřezu

$$i_0^2 = i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2 = 0,02055^2 + 0,02927^2 + 0^2 + 0,02736^2 = 0,0467$$

$$\begin{aligned} N_{cr,T} &= \frac{1}{i_0^2} * \left( G * I_t + \frac{\pi^2 * E * I_w}{l_{cr,T}^2} \right) \\ &= \frac{1}{0,046^2} \\ &\quad * \left( 81 * 10^9 * 0,92 * 10^{-7} + \frac{\pi^2 * 210 * 10^9 * 3,47 * 10^{-40}}{4,295^2} \right) \\ &= 3427,434 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\beta = 1 - \left( \frac{z_0}{i_0} \right)^2 = 1 - \left( \frac{0,02736}{0,0467} \right)^2 = 0,587$$

$$\begin{aligned} N_{cr,TF} &= \frac{N_{cr,z}}{2 * \beta} \left[ 1 + \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,z}} - \sqrt{\left( 1 - \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,z}} \right)^2 + 4 * \left( \frac{z_0}{y_0} \right)^2 * \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,z}}} \right] = \\ &= \frac{99,209 * 10^3}{2 * 0,587} \\ &\quad * \left[ 1 + \frac{3427,434 * 10^6}{99,209 * 10^3} \right. \\ &\quad \left. - \sqrt{\left( 1 - \frac{3427,434 * 10^6}{99,209 * 10^3} \right)^2 + 4 * \left( \frac{0,02736}{0,0467} \right)^2 * \frac{3427,434 * 10^6}{99,209 * 10^3}} \right] \\ &= 98,017 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$N_{cr,T} > N_{cr,TF} \rightarrow 3427,434 \text{ kN} > 98,017 \text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Poměrné štíhlosti:

$$\lambda_1 = 93,9 * \varepsilon = 93,9 * 1,0 = 93,9$$

$$\overline{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{146,761}{93,9} = 1,562$$

$$\overline{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{208,957}{93,9} = 2,225$$

$$\overline{\lambda}_T = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr,TF}}} = \sqrt{\frac{2,09 * 10^{-3} * 235 * 10^6}{98017}} = 2,23$$

$$\begin{aligned} \phi_y &= 0,5 * \left[ 1 + \alpha_1 * (\overline{\lambda}_y - 0,2) + \overline{\lambda}_y^2 \right] \\ &= 0,5 * \left[ 1 + 0,49 * (1,562 - 0,2) + 1,562^2 \right] = 2,054 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi_z &= 0,5 * [1 + \alpha_1 * (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^{-2}] \\ &= 0,5 * [1 + 0,49 * (2,225 - 0,2) + 2,225^2] = 3,471 \\ \phi_T &= 0,5 * [1 + \alpha_1 * (\bar{\lambda}_T - 0,2) + \bar{\lambda}_T^{-2}] \\ &= 0,5 * [1 + 0,49 * (2,23 - 0,2) + 2,23^2] = 3,505\end{aligned}$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\begin{aligned}\chi_y &= \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{2,054 + \sqrt{2,054^2 - 1,562^2}} = 0,295 \\ \chi_z &= \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{3,471 + \sqrt{3,471^2 - 2,225^2}} = 0,162 \\ \chi_T &= \frac{1}{\phi_T + \sqrt{\phi_T^2 - \bar{\lambda}_T^2}} = \frac{1}{3,505 + \sqrt{3,505^2 - 2,23^2}} = 0,143\end{aligned}$$

$$\min(\chi_y; \chi_z; \chi_T) = \min(0,295; 0,162; 0,143) = 0,143$$

Únosnost na prostorový vzpěr:

$$\begin{aligned}N_{b,rd,T} &= \frac{\chi_T * A * f_y}{\gamma_{m1}} = \frac{0,143 * 2,09 * 10^{-3} * 235 * 10^6}{1,00} = 70,413 \text{ kN} \\ \frac{N_{ed}}{N_{b,rd,T}} &< 1,0 \rightarrow \frac{37,92}{70,413} < 1,0 \rightarrow 0,538 < 1,0 \rightarrow \text{Vyhovuje}\end{aligned}$$

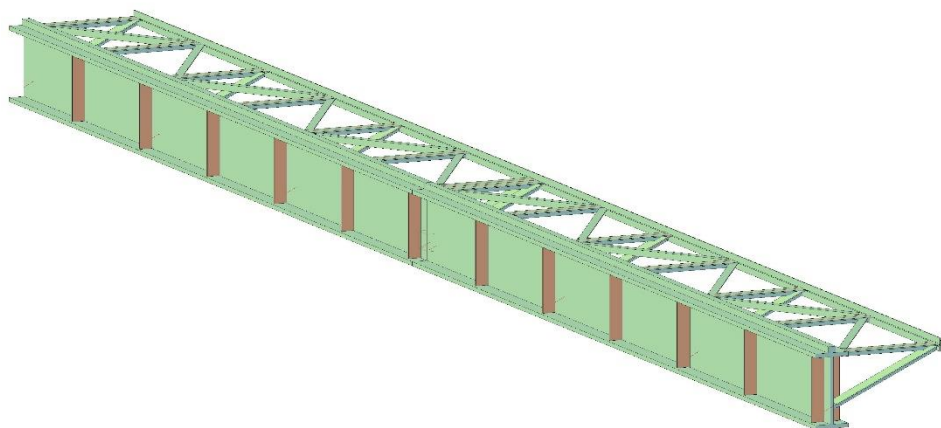
Tahová únosnost:

$$\begin{aligned}N_{rd} &= \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2,09 * 10^{-3} * 235 * 10^6}{1,0} = 491,15 \text{ kN} \\ \frac{N_{ed}}{N_{rd}} &\leq 1,0 \rightarrow \frac{37,92}{491,15} \leq 1,0 \rightarrow 0,08 \leq 1,0 \rightarrow \text{Vyhovuje}\end{aligned}$$

## 9. Jeřábová dráha

V hale jsou umístěny dva jeřáby. Jeden o nosnosti 32/8t a druhý o nosnosti 20/5t.

Jeřábová dráha je navržena jako plnostěnný nosník výšky 1200mm, rozpětí jednoho pole je 12 m. Nosníky jeřábové dráhy jsou řešeny jako prosté nosníky. Na nosníku je umístěna kolejnice o rozměrech 100x100mm. Příčné síly, které působí na nosník, zachycuje vodorovný příhradový nosník.



### 9.1 Charakteristiky jeřábů

Základní parametry jeřábů potřebné pro výpočet:					
Jeřáb:		32/8t		20/5t	
Zdvihová kategorie jeřábu:		HC2/s <sub>5</sub>		HC2/s <sub>5</sub>	
Rozpětí jeřábu:	<i>s</i>	18	m	18	m
Vzdálenost jeřábu od osy koleje	<i>a</i>	270	mm	270	mm
Minimální světlá výška mezi horní hranou kolejnice a dolním obrysem střešní konstrukce	<i>z</i>	2400	mm	2400	mm
Výška nárazníku:	<i>e</i>	850	mm	850	mm
Rozvor kol:	<i>b</i>	4400	mm	4100	mm
Minimální vzdálenost dvou sousedních kol sjetých jeřábů:		$p_2 + p_1 = 820 + 775 = 1595$ mm			
Vodorovný dojezd háku:	<i>c</i>	2050	mm	2000	mm
Šířka hlavy kolejnice:	<i>b<sub>r</sub></i>	80	mm	80	mm
Tíha břemene:	<i>Q<sub>h</sub></i>	320	kN	200	kN
Tíha kočky:	<i>Q<sub>t</sub></i>	84	kN	55	kN
Tíha jeřábu s kočkou:	<i>Q<sub>c</sub></i>	272	kN	214	kN
Rychlost zdvihu kladkostroje:	<i>v<sub>h</sub></i>	0,133	m/s	0,167	m/s
Rychlost pojezdu jeřábu:	<i>v<sub>c</sub></i>	1,33	m/s	1,667	m/s
Konstanta tuhosti nárazníku:	<i>S<sub>B</sub></i>	572	kN/m	426	kN/m
Počet dvojic kol	<i>n</i>	2		2	

## 9.2 Zatížení

### 9.2.1 Stálé zatížení

Kolejnice jeřábové dráhy 100x100 mm	0,8	kN/m
Vlastní tíha nosníku jeřábové dráhy (odhad):	4	kN/m
Vlastní tíha vodorovného nosníku a lávky (odhad) :	1,5	kN/m
Stálé zatížení celkem:	6,3	kN/m

### 9.2.2 Proměnné zatížení

#### 9.2.2.1 Svislé síly od kol zatíženého jeřábu

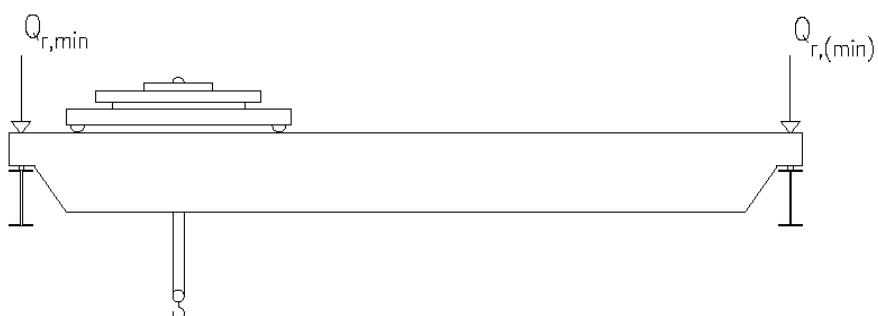
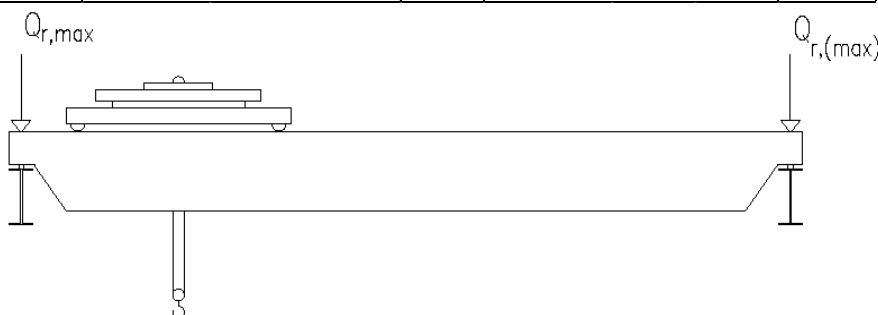
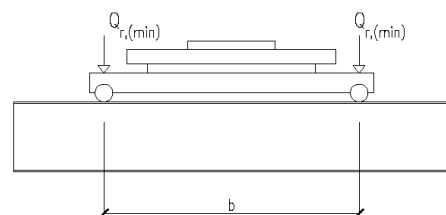
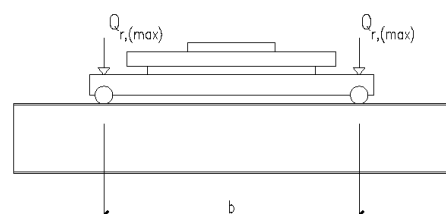
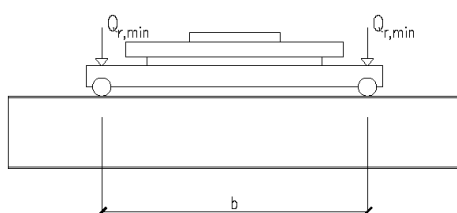
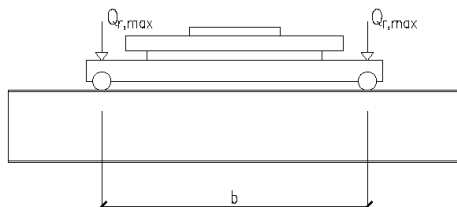
$$Q_{c,r,max} = \frac{1}{n} * \left[ \frac{Q_c - Q_t}{2} + \frac{Q_t(s - c)}{s} \right]$$

$$Q_{c,r,(max)} = \frac{1}{n} * \left[ \frac{Q_c - Q_t}{2} + \frac{Q_t * c}{s} \right]$$

$$Q_{c,r,(min)} = Q_{c,r,max}$$

$$Q_{c,r,min} = Q_{c,r,(max)}$$

Svislé síly od kol zatíženého jeřábu:				
	32/8t		20/5t	
$Q_{c,r,max}$	84,217	kN	64,194	kN
$Q_{c,r,(max)}$	51,783	kN	42,806	kN
$Q_{c,r,min}$	51,783	kN	42,806	kN
$Q_{c,r,(min)}$	84,217	kN	64,194	kN



#### 9.2.2.2 Zatížení kladkostroje

$$Q_{H,r,max} = \frac{1}{n} * \frac{Q_h * (s - c)}{s}$$

$$Q_{H,r,(max)} = \frac{1}{n} * \frac{Q_h * c}{s}$$

Zatížení kladkostroje				
	32/8t		20/5t	
$Q_{H,r,max}$	141,778	kN	88,889	kN
$Q_{H,r,(max)}$	18,222	kN	11,111	kN

### 9.2.2.3 Zrychlení mostu jeřábu:

- Hnací síla:

$$K = \mu * m_w * Q_{C,cr,min}$$

$\mu = 0,2$  součinitel tření pro kombinaci ocel – ocel

$m_w = 2$  počet pohonů jednotlivých kol

- Síly způsobené rozjezdem nebo brzděním jeřábu:

$$H_{L,i} = H_{L,1} = H_{L,2} = \frac{K}{n_r}$$

$n_r = 2$  počet větví jeřábové dráhy

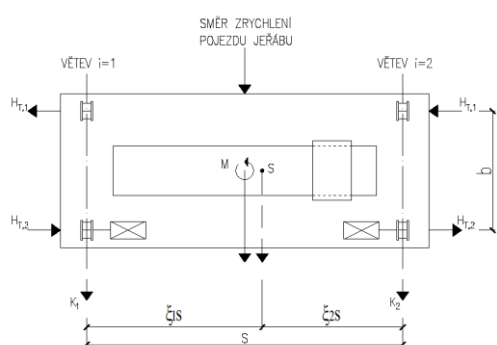
- Síly v příčném směru způsobené rozjezdem nebo brzděním jeřábu:

$$H_{T,i} = \xi_i * \frac{M}{b}$$

$\xi_i = \frac{\sum Q_{r,max}}{\sum Q_r}$  podíl vzdálenosti těžiště jeřábu od osy  
jeřábové kolejnice a rozpětí jeřábu

$M = K * l_s$  moment hnací síly k těžišti jeřábu

$l_s = (\xi_i - 0,5) * s$  vychýlení těžiště jeřábu od poloviny jeho rozpětí



Výpočet podélných a příčných vodorovných sil od rozjezdu a brzdění			
	32/8t		20/5t
K	20,713	kN	17,122 kN
H <sub>L,1</sub>	10,357	kN	8,561 kN
H <sub>L,2</sub>	10,357	kN	8,561 kN
ΣQ <sub>r,max</sub>	387,122	kN	263,389 kN
ΣQ <sub>r</sub>	592,000	kN	414,000 kN
ξ <sub>1</sub>	0,654		0,636
ξ <sub>2</sub>	0,346		0,364
l <sub>s</sub>	2,771	m	2,452 m
M	57,389	kNm	41,978 kNm
H <sub>T,1</sub>	8,529	kN	6,514 kN
H <sub>T,2</sub>	4,514	kN	3,725 kN

#### 9.2.2.4 Příčzení mostu jeřábu

- Vodorovné síly od kol způsobené příčzením jeřábu:

$$H_{S,i,j,k} = f * \lambda_{S,i,j,k} * \sum Q_r$$

$f = 0,3$  součinitel reakcí při příčzení [ ČSN EN 1991 – 3]

$$\lambda_{S,i,j,k} = \frac{\xi_2}{n} \left(1 - \frac{e_1}{h}\right) = \frac{\xi_2}{n} \text{ součinitel síly (od kola)}$$

- Síla od vodícího prostředku způsobená příčzením jeřábu

$$S = f * \lambda_s * \sum Q_r$$

$$\lambda_s = 1 - \frac{\sum e_j}{nh} = 1 - \frac{1}{n} \text{ součinitel síly (od vodícího prostředku)}$$

Příčzení mostu				
	32/8t		20/5t	
$\lambda_{S,1,1,T}$	0,173		0,182	
$\lambda_{S,2,1,T}$	0,327		0,318	
$H_{S,1,1,T}$	30,732	kN	22,592	kN
$H_{S,2,1,T}$	58,068	kN	39,508	kN
$\lambda_s$	0,500		0,500	
S	88,800	kN	62,100	kN

#### 9.2.2.5 Zrychlení kočky

$$H_{T,3,i} = H_{T,3,1} = H_{T,3,2} = \frac{0,1}{2n} * (Q_h + Q_t)$$

Zrychlení kočky				
	32/8t		20/5t	
$H_{T,3,1}$	80,800	kN	51,000	kN
$H_{T,3,2}$	80,800	kN	51,000	kN

#### 9.2.2.6 Charakteristické zatížení lávky:

Zatížení lávky lidmi a materiálem pro údržbu je 3,0 kN

Lávka je široká 0,8 m  $\rightarrow q_n = 2 * 0,8 = 1,6 \text{ kN/m}$

#### 9.2.2.7 Dynamické součinitele

$\varphi_1 = 1,1$  Vlastní tíha

$$\varphi_2 = \varphi_{2,min} + \beta_2 * v_h = 1,1 + 0,34 * 0,167 = 1,16 \text{ Zatížení kladkostroje}$$

$\varphi_4 = 1,0$  Vlast. tíha jeřábu a zatíž. kladkostroje

[tab. 2.4 ČSN EN 1991 – 3]

$\varphi_5 = 1,5$  Hnací síly

[tab. 2.6 ČSN EN 1991 – 3]



### 9.2.3 Mimořádná zatížení

- Síly na nárazníky:

$$H_{B,1} = \frac{v_1 \sqrt{m_c * S_B}}{n_r}$$

$$v_1 = 0,7 * v_c \rightarrow 70\% \text{ rychlosti podélného pojezdu } v \frac{m}{s}$$

$$m_c = 100 * (Q_c + Q_h) \text{ hmotnost jeřábu a břemene v kg}$$

$$S_B = \text{konstanta tuhosti nárazníku v } \frac{N}{m}$$

Mimořádné zatížení - síly od nárazníku			
	32/8t		20/5t
$v_1$	0,933	m/s	1,167 m/s
$m_c$	59200,000	kg	41400,000 kg
$H_{B,1}$	85,853	kN	77,483 kN

*Dynamický součinitel*

$$\varphi_6 = 1,6 \text{ Síly od nárazníku [tab. 2.9b ČSN EN 1991 – 3]}$$

32/8t			
Skupina zatížení 1			
$Q_c =$	$Q_{C,r,max} * \varphi_1 =$	84,217*1,1=	92,638
$Q_H =$	$Q_{H,r,max} * \varphi_2 =$	141,778*1,16=	164,462
$H_{T1} = H_{T2} =$	$H_{T2} * \varphi_5 =$	8,529*1,5=	12,794
$H_{L1} = H_{L2} =$	$H_{L2} * \varphi_5 =$	10,357*1,5=	15,535
Skupina zatížení 3			
$Q_c =$	$Q_{C,r,min}$		51,783
$H_{T1} = H_{T2} =$	$H_{T2} * \varphi_5 =$	8,529*1,5=	12,794
$H_{L1} = H_{L2} =$	$H_{L2} * \varphi_5 =$	10,357*1,5=	15,535
Skupina zatížení 4			
$Q_c =$	$Q_{C,r,max} * \varphi_4 =$	84,217*1,0=	84,217
$Q_H =$	$Q_{H,r,max} * \varphi_4 =$	141,778*1,0=	141,778
$H_{T1} = H_{T2} =$	$H_{T2} * \varphi_5 =$	8,529*1,5=	12,794
$H_{L1} = H_{L2} =$	$H_{L2} * \varphi_5 =$	10,357*1,5=	15,535
Skupina zatížení 5			
$Q_c =$	$Q_{C,r,max} * \varphi_4 =$	84,217*1,0=	84,217
$Q_H =$	$Q_{H,r,max} * \varphi_4 =$	141,778*1,0=	141,778
$H_{S,1,1,T} = H_{S,2,1,T} =$	$H_{S,1,1,T} = H_{S,2,1,T} =$		58,068
Skupina zatížení 6			
$Q_c =$	$Q_{C,r,max} * \varphi_4 =$	84,217*1,0=	84,217
$Q_H =$	$Q_{H,r,max} * \varphi_4 =$	141,778*1,0=	141,778
$H_{T,3,1} = H_{T,3,2} =$	$H_{T,3,1} = H_{T,3,2} =$		80,800
Skupina zatížení 9			
$Q_c =$	$Q_{C,r,max} =$		84,217
$Q_H =$	$Q_{H,r,max} =$		141,778
$H_{B,1}$	$H_{B,1} * \varphi_7 =$	85,853*1,6=	137,365

## 9.3 Skupiny zatížení

20/5t			
Skupina zatížení 1			
$Q_c =$	$Q_{C,r,max} * \varphi_1 =$	$64,194 * 1,1 =$	70,614
$Q_H =$	$Q_{H,r,max} * \varphi_2 =$	$88,889 * 1,16 =$	103,111
$H_{T1} = H_{T2} =$	$H_{T2} * \varphi_5 =$	$6,514 * 1,5 =$	9,771
$H_{L1} = H_{L2} =$	$H_{L2} * \varphi_5 =$	$8,561 * 1,5 =$	12,842
Skupina zatížení 3			
$Q_c =$	$Q_{C,r,min}$		42,806
$H_{T1} = H_{T2} =$	$H_{T2} * \varphi_5 =$	$6,514 * 1,5 =$	9,771
$H_{L1} = H_{L2} =$	$H_{L2} * \varphi_5 =$	$8,561 * 1,5 =$	12,842
Skupina zatížení 4			
$Q_c =$	$Q_{C,r,max} * \varphi_4 =$	$64,194 * 1,0 =$	64,194
$Q_H =$	$Q_{H,r,max} * \varphi_4 =$	$88,889 * 1,0 =$	88,889
$H_{T1} = H_{T2} =$	$H_{T2} * \varphi_5 =$	$8,529 * 1,5 =$	9,771
$H_{L1} = H_{L2} =$	$H_{L2} * \varphi_5 =$	$8,561 * 1,5 =$	12,842
Skupina zatížení 5			
$Q_c =$	$Q_{C,r,max} * \varphi_4 =$	$64,194 * 1,0 =$	64,194
$Q_H =$	$Q_{H,r,max} * \varphi_4 =$	$88,889 * 1,0 =$	88,889
$H_{S,1,1,T} = H_{S,2,1,T} =$	$H_{S,1,1,T} = H_{S,2,1,T} =$		58,068
Skupina zatížení 6			
$Q_c =$	$Q_{C,r,max} * \varphi_4 =$	$64,194 * 1,0 =$	64,194
$Q_H =$	$Q_{H,r,max} * \varphi_4 =$	$88,889 * 1,0 =$	88,889
$H_{T,3,1} = H_{T,3,2} =$	$H_{S,1,1,T} = H_{S,2,1,T} =$		
Skupina zatížení 9			
$Q_c =$	$Q_{C,r,max} =$		64,194
$Q_H =$	$Q_{H,r,max} =$		88,889
$H_{B,1}$	$H_{B,1} * \varphi_7 =$	$77,483 * 1,6 =$	123,973

Rozhodující je skupina zatížení č. 2 u obou jeřábů.

### 9.3.1 Účinky svislých tlaků kol obou jeřábů ve skupině zatížení č.1

Maximální moment na nosníku nastane v případě, že břemena rozestavíme podle Winklerova kritéria.

- Návrhové hodnoty svislých tlaků kol jeřábů

$$F = \gamma_Q * (\varphi_1 Q_{C,r,max} + \varphi_2 Q_{H,r,max})$$

$$\varphi_1 = 1,1; \varphi_2 = 1,13$$

Jeřáb 32/8t

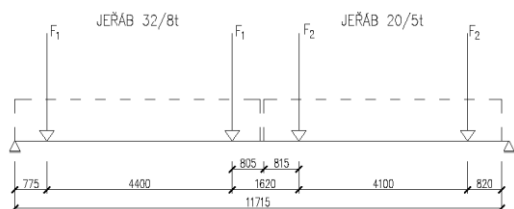
$$F_1 = 1,35 * (1,1 * 84,217 + 1,13 * 141,778) = 341,345 \text{ kN}$$

Jeřáb 20/5t

$$F_2 = 1,35 * (1,1 * 61,194 + 1,13 * 88,889) = 230,928 \text{ kN}$$

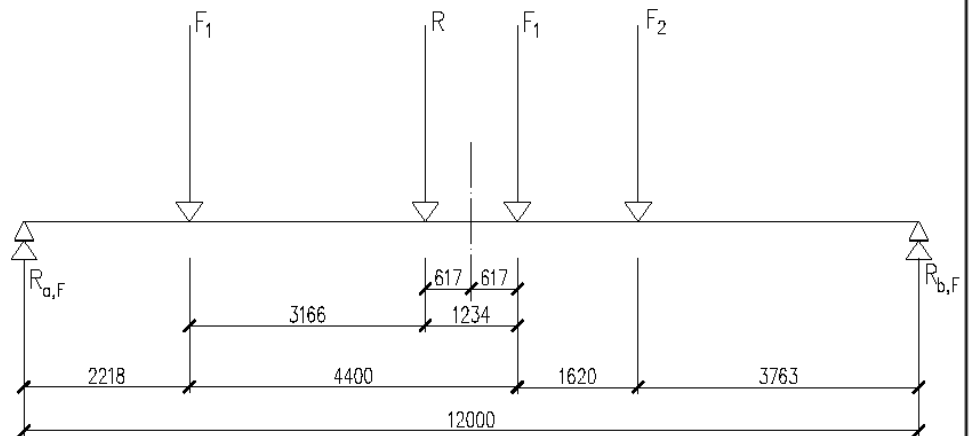
- Výslednice sil.

$$R = 2 * F_1 + F_2 = 2 * 341,345 + 230,928 = 913,618 \text{ kN}$$



- Vzdálenost od prvního břemene:

$$a = \frac{F_1 * 4,4 + F_2 * 6,020}{R} = \frac{341,345 * 4,4 + 230,928 * 6,02}{913,618} = 3,166m$$



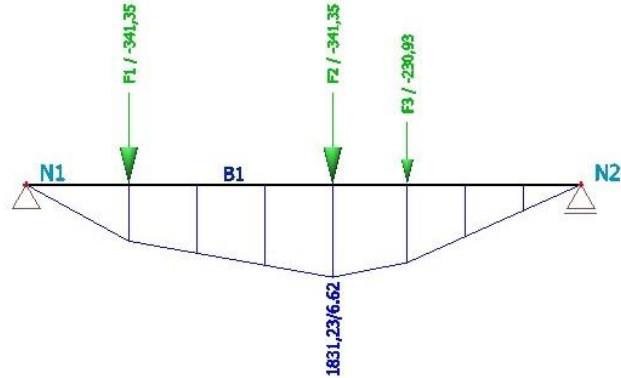
Příslušné reakce určené pro návrhové zatížení svislými tlaky kol jsou:

$$R_{a,F} = \frac{341,345 * (9,782 + 5,383) + 230,928 * 3,763}{12} = 503,7899 \text{ kN}$$

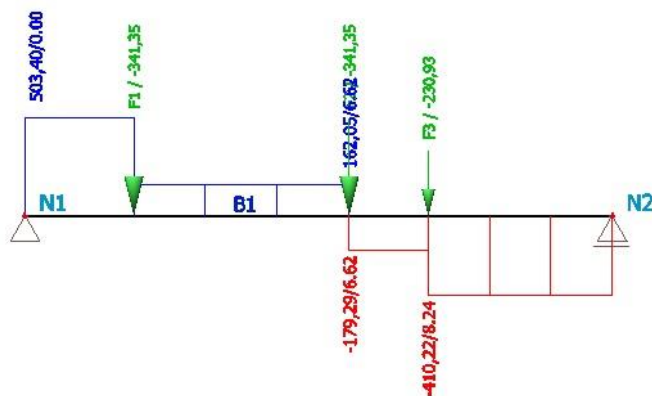
$$R_{b,F} = \frac{341,345 * (2,218 + 6,618) + 230,928 * 8,238}{12} = 409,876 \text{ kN}$$

- Ohybový moment  $M_{max,F}$  pro návrhové zatížení:

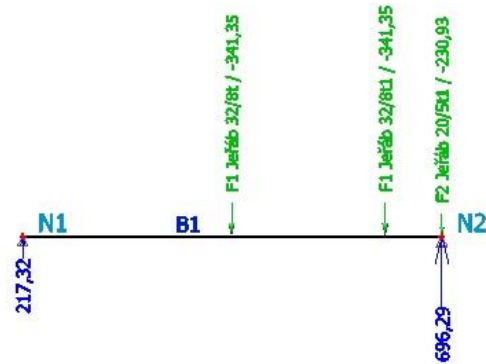
$$M_{max,F} = R_{a,F} * 6,618 - F_1 * 4,4 = 503,790 * 6,618 - 341,345 * 4,4 = 1832,163 \text{ kNm}$$



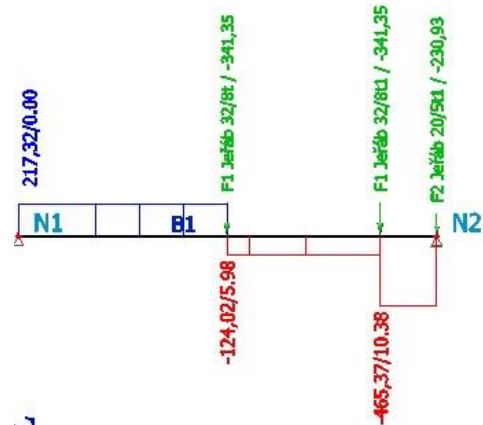
- Příslušné posouvající síly:



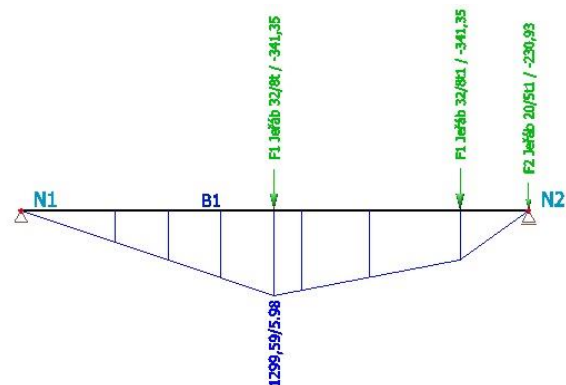
- Maximální reakce:



Příslušná posouvající síla:



Příslušný moment:



$$R_{N2} = 696,29 \text{ kN}$$

$$R_{N2,Max} = R_{N2} + R_{gd} = 696,29 + 51,06 = 747,35 \text{ kN}$$

- Návrhová reakce od stálého zatížení:

$$g_d = \gamma_{SUP} * g = 1,35 * 6,3 = 8,505 \text{ kN/m}$$

$$R_{gd} = \frac{1}{2} * g_d * l = \frac{1}{2} * 8,505 * 12 = 51,06 \text{ kN}$$

- Maximální moment od stálého zatížení:

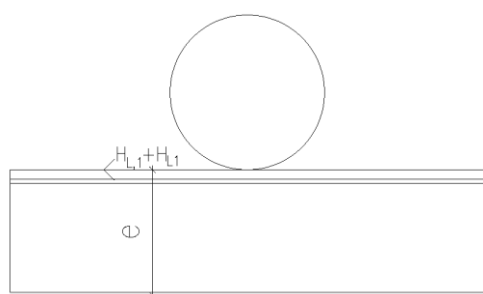
$$M = \frac{1}{8} * q * l^2 = \frac{1}{8} * 6,3 * 12^2 = 113,4 \text{ kNm}$$

- Posouvající síla od stálého zatížení:

$$V = \frac{1}{2} * q * l = \frac{1}{2} * 6,3 * 12 = 37,8 \text{ kN}$$

- Moment od nahodilého zatížení lávky:

$$M = \frac{1}{8} * q * l^2 = \frac{1}{8} * 1,6 * 12^2 = 28,8 \text{ kNm}$$



- Posouvající síla od nahodilého zatížení lávky:

$$V = \frac{1}{2} * q * l = \frac{1}{2} * 1,6 * 12 = 9,6kN$$

- Vnitřní síly od brzdných sil:

$$N = H_{L,1}^1 + H_{L,1}^2 = 15,535 + 12,842 = 28,377 kN$$

$$e = 1,3m$$

$$M = e * N = 1,3 * 28,377 = 36,89 kNm$$

Reakce:

$$R_a = R_b = \frac{M}{l} = \frac{36,89}{12} = 3,074kN$$

- Moment v místě max. momentu od svislých zatížení jeřáby:

$$M = \frac{N * e * x}{l} = \frac{36,89 * 1,3 * 6,617}{12} = 26,444 kNm$$

- Vnitřní síly od nárazu jeřábu do nárazníku:

$$N = H_{B,1} = 123,973 kN$$

$$e = 1,3m$$

$$M = e * N = 1,3 * 123,973 = 161,165kNm$$

Reakce:

$$R_a = R_b = \frac{M}{l} = \frac{161,165}{12} = 13,43kN$$

- Moment v místě max. momentu od svislých zatížení jeřáby:

$$M = \frac{N * e * x}{l} = \frac{123,973 * 1,3 * 6,617}{12} = 88,869kNm$$

## 9.4 Kombinace zatížení

Zatěžovací stavy				
Zatěžovací stav	Místo	$N_{ed} [kN]$	$V_{z,ed} [kN]$	$M_{y,Ed} [kNm]$
ZS1 - Vlastní tíha	Podpora	-	37,8	-
	x	-	-	113,4
ZS2 - Zatížení lávky	Podpora	-	9,6	-
	x	-	-	28,8
ZS3 - Svislé tlaky od kol - $M_{max}$	Podpora	-	503,79	-
	x	-	-	1831,23
ZS4 - Svislé tlaky kol $V_{max}$	Podpora	-	696,29	-
	x	-	-	1299,59
ZS5 - Podélné brzdné síly	Podpora	28,377	3,074	-
	x	28,377	-	36,89
ZS6 - Síla od nárazu jeřábu na nárazník	Podpora	123,973	13,43	-
	x	123,973	-	88,869

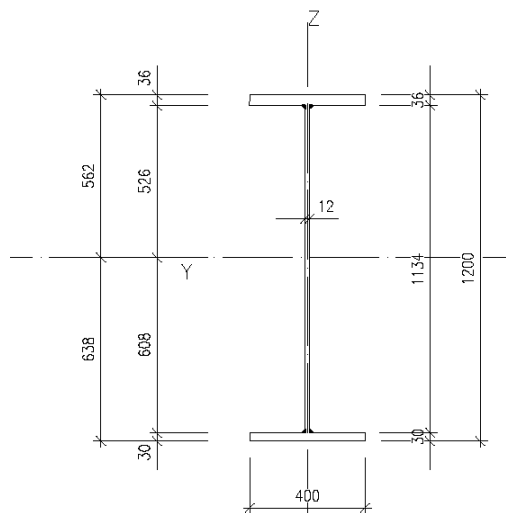
Součinitele pro kombinace	
Součinitel pro stálé zatížení - $\gamma_g$	1,35
Součinitel pro zatížení od jeřábu - $\gamma_g$	1,35
Součinitel proměnného zatížení - $\gamma_Q$	1,5
Kombinační součinitel $\Psi_{Q,1}$	1
Kombinační součinitel $\Psi_{0,1}$	0,9
Redukční součinitel $\xi$	0,85

$$F_d = \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

$$F_d = \sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 2} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Kombinace 6.10a					
		Místo	$N_{ed}$ [kN]	$V_{z,ed}$ [kN]	$M_{y,Ed}$ [kNm]
1	ZS1 +ZS2+ZS3+ZS5	Podpora	38,30895	748,2564	-
		x	38,30895	-	2713,932
2	ZS1 +ZS2+ZS4+ZS5	Podpora	38,30895	762,237	-
		x	38,30895	-	1996,218
3	ZS1 +ZS2+ZS3+ZS6	Podpora	167,36355	1008,1314	-
		x	167,36355	-	2784,10365
4	ZS1 +ZS2+ZS4+ZS6	Podpora	167,36355	1022,112	-
		x	167,36355	-	2066,38965

Kombinace 6.10b					
		Místo	$N_{ed}$ [kN]	$V_{z,ed}$ [kN]	$M_{y,Ed}$ [kNm]
1	ZS1 +ZS2+ZS3+ZS5	Podpora	38,30895	637,101525	-
		x	38,30895	-	2319,845925
2	ZS1 +ZS2+ZS4+ZS5	Podpora	38,30895	652,635525	-
		x	0	-	1709,789025
3	ZS1 +ZS2+ZS3+ZS6	Podpora	167,36355	857,995275	-
		x	167,36355	-	2397,814425
4	ZS1 +ZS2+ZS4+ZS6	Podpora	167,36355	873,529275	-
		x	167,36355	-	1787,757525



## 9.5 Dimenzování hlavního nosníku

Hlavní nosník je navržen svařovaný I průřez o výšce 1200mm a šířce pásnice 400mm. Svislé výztuhy hlavního nosníku budou umístěny po vzdálenosti 1500 mm.

Charakteristiky průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

Štíhlost pásnice:

$$\frac{b - t_w}{2 * t_{f1}} \leq 9\varepsilon \rightarrow \frac{400 - 12}{2 * 36} \leq 9 * 0,81 \rightarrow 5,389 \leq 7,29 \rightarrow \text{Průřez třídy 1.}$$

Štíhlost stojiny:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq 62\varepsilon \left( 1 + \frac{h_{w2}}{h_{w1}} \right) \sqrt{\frac{h_{w2}}{h_{w1}}} \rightarrow \frac{1134}{12} \leq 62 * 0,81 * \left( 1 + \frac{608}{526} \right) * \sqrt{\frac{608}{526}}$$

$$\rightarrow 116,402 \leq 143,707 \rightarrow \text{Průřez třídy 3.}$$

Posouzení stojiny v neutrální ose průřezu při maximálním smykovém napětí:

$$S_y = 0,5 * (b * e_1^2 - (b - t_w) * h_{w1}^2)$$

$$= 0,5 * (400 * 562^2 - (400 - 12) * 526^2)$$

$$= 9,493 * 10^6 \text{ mm}^3$$

Smykové napětí:

Pro maximální posouvající sílu  $V_{Ed}=1008,131\text{kN}$ .

$$\tau_{V,Ed} = \frac{V_{Ed} * S_y}{I_y * t_w} = \frac{1008,131 * 10^3 * 9,493 * 10^6}{0,0104 * 0,012} = 76,684 \text{ MPa}$$

Podmínka spolehlivosti:

$$76,684 * \frac{\sqrt{3} * 1,0}{355} \leq 1,0 \rightarrow 0,374 \leq 1,0 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Moment setrvačnosti koleje:

$$I_r = \frac{1}{12} * b_r * (0,75 * h_r)^3 = \frac{1}{12} * 0,1 * (0,75 * 0,1)^3 = 3,51 * 10^{-6} \text{ m}^4$$

Účinná šířka pásnice:

$$b_{eff} = b_r + 0,75 h_r + t_{f1} = 0,1 + 0,75 * 0,1 + 0,036 = 0,211 \text{ m}$$

Moment setrvačnosti horní pásnice:

$$I_{f1,eff} = \frac{1}{12} * b_{eff} * t_{f1}^3 = \frac{1}{12} * 0,211 * 0,036^3 = 0,82 * 10^{-6} \text{ m}^4$$

Účinná roznášecí šířka:

$$l_{eff} = 4,25 * \sqrt[3]{\frac{I_r * I_{f1,eff}}{t_w}} = 4,25 * \sqrt[3]{\frac{3,51 * 10^{-6} + 0,82 * 10^{-6}}{0,012}} = 0,302 \text{ m}$$

Lokální svislé tlakové napětí:

$$\sigma_{oz,Ed} = \frac{F_{Ed}}{l_{eff} * t_w} = \frac{341,345}{0,302 * 0,012} = 94,190 \text{ MPa}$$

Smykové napětí:

$$\tau_{oxz,Ed} = 0,2 * \sigma_{oz,Ed} = 0,2 * 94,190 = 18,838 \text{ MPa}$$

Krouticí moment:

$$T_{Ed} = F_{Ed} * e = 341,345 * 10^3 * (0,25 * 0,1) = 8,533 * 10^3 \text{ N}$$

Moment tuhosti v prostém kroucení horní pásnice:

$$I_{f1,t} = \frac{1}{3} * (b - 0,63 * t_{f1}) * t_{f1}^3 = \frac{1}{3} * (0,4 - 0,63 * 0,036) * 0,036^3 = 5,868 * 10^{-6} \text{ m}^4$$

Lokální ohybové napětí:

Svislé výztuhy hlavního nosníku jsou umístěny ve vzdálenosti 1500 mm od sebe.

$$a = 1,5$$

$$\eta = \sqrt{\frac{0,75 * a * t_w^3}{I_{f1,t}}} = \sqrt{\frac{0,75 * 1,5 * 0,012^3}{5,868 * 10^{-6}}} = 0,575$$

$$\sigma_{T,Ed} = \frac{6 * T_{Ed}}{a * t_w^2} * \eta * tgh \eta = \frac{6 * 8,533 * 10^3}{1,5 * 0,012^2} * 0,575 * tgh(0,575) = 70,738 \text{ MPa}$$

Ohybové normálové napětí:

$$W_{el,y,1} = \frac{I_y}{e_1} = \frac{0,0104}{0,562} = 0,0185 \text{ m}^3$$

$$W_{el,y,2} = \frac{I_y}{e_2} = \frac{0,0104}{0,638} = 0,0163 \text{ m}^3$$

Při horním okraji:

$$\sigma_{m,Ed} = \frac{M_{Ed}}{W_{el,y,1}} = \frac{2784,103 * 10^3}{0,0185} = 150,492 MPa$$

Při dolním okraji:

$$\sigma_{m,Ed} = \frac{M_{Ed}}{W_{el,y,2}} = \frac{2784,103 * 10^3}{0,0163} = 170,803 MPa$$

Podmínka spolehlivosti:

$$\left( \sigma_{m,Ed}^2 + (\sigma_{oz,Ed} + \sigma_{T,Ed})^2 + 4 * (\tau_{V,Ed} + \tau_{oxz,Ed})^2 * \left( \frac{1}{355} \right)^2 \leq 1,0 \right) \\ \left( 166,499^2 + (94,19 + 70,738)^2 + 4 * (76,684 + 18,383)^2 * \left( \frac{1}{355} \right)^2 \leq 1,0 \right) \rightarrow 0,734 \leq 1,0 \rightarrow Vyhovuje$$

Brzdné síly a jejich účinky:

$$F_l = \gamma_Q * \varphi_5 * \sum H_{L,2} = 1,35 * 1,5 * (10,357 + 8,561) = 38,3 kN$$

Výška hlavního nosníku s kolejnicí:  $z=1300$  mm

Podporová reakce:

$$R_L = \frac{1}{l} * F_l * z = \frac{38,3 * 1,3}{12} = 4,14 kN$$

Moment uprostřed nosníku:

$$M_L = 0,5 * F_l * z = 0,5 * 38,3 * 1,3 = 24,895 kNm$$

Ohybové napětí:

$$\sigma_{m,Ed} = \frac{M_{Ed}}{W_{el,y,1}} = \frac{24,895 * 10^3}{0,0185} = 1,345 MPa$$

$$\sigma_{m,Ed} = \frac{M_{Ed}}{W_{el,y,1}} = \frac{24,895 * 10^3}{0,0163} = 1,527 MPa$$

Tlakové napětí:

$$\sigma_{c,Ed} = \frac{F_L}{A} = \frac{38,3 * 10^3}{0,04} = 0,957 MPa$$

Návrhová hodnota síly od brzdění, nebo rozjezu:

$$F_T = \gamma_Q * \varphi_5 * \sum H_{T,2} = 1,35 * 1,5 * (8,529 + 6,514) = 30,46 kN$$

Ohybový moment:

$$M_T = 0,8 * \frac{F_{T1} * a}{4} = 0,8 * \frac{30,46 * 1,5}{4} = 9,13 kNm$$

$$\sigma_{MT,Ed} = \frac{6 * M_t}{t_{f1} * b} = \frac{6 * 9,13 * 10^3}{0,036 * 0,4} = 3,804 MPa$$

Posouzení:

Horní pásnice:

$$\sigma_{x,Ed} = 150,492 + 1,345 + 0,957 + 3,804 = 156,598 \leq 355 \rightarrow Vyhovuje$$



Dolní pásnice:

$$\sigma_{x,Ed} = 170,803 + 1,527 + 0,957 + 3,804 = 177,091 \leq 355 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Posouzení hlavního nosníku na klopení:

$$A_c = 0,0172 \text{ m}^2$$

$$I_c = 1,92 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$h_w/5 = 0,227 \text{ m}$$

$$t_w = 0,012 \text{ m}$$

$$b = 0,400 \text{ m}$$

$$t_f = 0,036 \text{ m}$$

$$\bar{\lambda}_f = \frac{L_c}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_y \cdot A_c}{E \cdot I_y}} = \frac{1,5}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{355 \cdot 10^6 \cdot 0,0172}{210 \cdot 10^9 \cdot 1,92 \cdot 10^{-4}}} = 0,186$$

$$\bar{\lambda}_f \leq 0,2 \rightarrow 0,186 \leq 0,2 \rightarrow \text{Klopení není nutné uvažovat}$$

Posouzení hlavního nosníku na boulení:

$$k_\tau = 5,34 + 4 \cdot \left(\frac{h_w}{a}\right)^2 = 5,34 + 4 \cdot \left(\frac{1,134}{1,5}\right)^2 = 7,626$$

$$\bar{\lambda}_w = \frac{h_w}{1,134} = \frac{1,134}{1,134} = 1,129$$

$$\chi_w = \frac{0,83}{\bar{\lambda}_w} = \frac{0,83}{1,129} = 0,735$$

Únosnost stojiny ve smyku:

$$V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = \frac{0,735 \cdot 1,134 \cdot 0,012 \cdot 355 \cdot 10^6}{\sqrt{3}} = 2049,978 \text{ kN}$$

Únosnost pásnice ve smyku:

$$c = a \cdot \left(0,25 \cdot \frac{1,6 \cdot b \cdot t_f^2}{t_w \cdot h_w}\right) = 1,5 \cdot \left(0,25 + \frac{1,6 \cdot 0,4 \cdot 0,03}{0,012 \cdot 1,134}\right) = 0,529$$

$$V_{bf,Rd} = \frac{b \cdot t_f^2 \cdot f_y}{c \cdot \gamma_{M1}} = \frac{0,4 \cdot 0,03^2 \cdot 355 \cdot 10^6}{0,529 \cdot 1} = 241,587 \text{ kN}$$

Posouzení spolehlivosti:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd}} \leq 1,0 \rightarrow \frac{1008,131}{2049,978 + 241,587} = 0,440 \leq 1,0 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Posouzení pro kombinaci zatížení s maximálními tlaky kol:

- Příklad s významným ohybovým momentem:

$$a_m = \min\{0,4 \cdot a; 0,5 \cdot h_w\} = \min\{0,4 \cdot 1,5; 0,5 \cdot 1,134\} = \min\{0,6; 0,567\} = 0,567 \text{ m}$$

$$x = a - a_w = 1,5 - 0,567 = 0,933 \text{ m}$$

Maximální moment  $M_{\max}$  získáme při rozestavění pohyblivé soustavy podle Winklerova kritéria.

$$R = 2 \cdot F_1 + 2 \cdot F_2 = 2 \cdot 341,345 + 2 \cdot 230,928 = 1144,546 \text{ kN}$$

$$R_{a,F} = \frac{341,345 \cdot (10,86 + 6,667) + 230,928 \cdot (5,047 + 0,947)}{12}$$

$$= 613,911 \text{ kN}$$

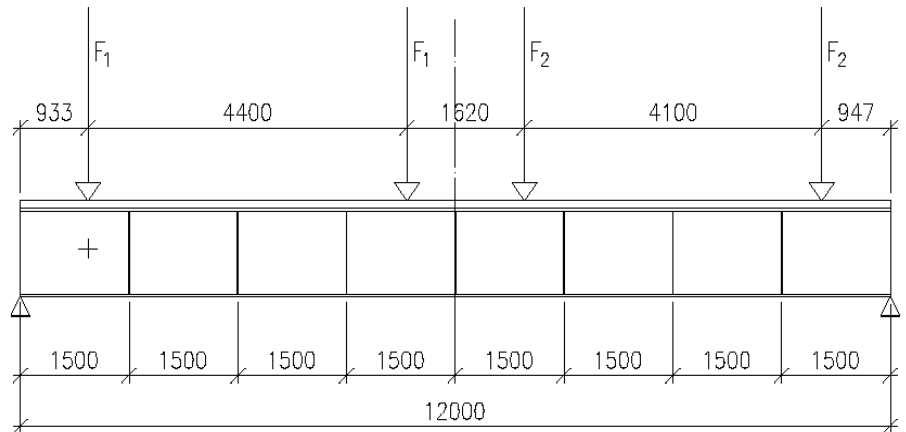
$$M_{Ed} = R_{a,F} \cdot 0,933 = 613,911 \cdot 0,933 = 572,779 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = F_L = 38,3 \text{ kN}$$

$$M_{z,Ed} = M_T = 9,13 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = R_{a,g} + R_{a,F} = 51,1 + 613,911 = 665,011 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = F_1 = 341,345 \text{ kN}$$



Únosnost při působení normálových napětí:

$$\begin{aligned} \sigma_{x,Ed} &= \frac{M_{Ed}}{W_{el,y,1}} + \sigma_{c,Ed} + \sigma_{mt,Ed} \\ &= \frac{572,779 \cdot 10^3}{0,0185} + 0,957 \cdot 10^6 + 3,804 \cdot 10^6 \\ &= 35,722 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$35,722 \leq 355 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Únosnost průřezu ve smyku:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd}} \leq 1,0 \rightarrow \frac{665,011}{2049,978 + 241,587} = 0,29 \leq 1,0 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Únosnost při interakci ohybu, tlaku a smyku:

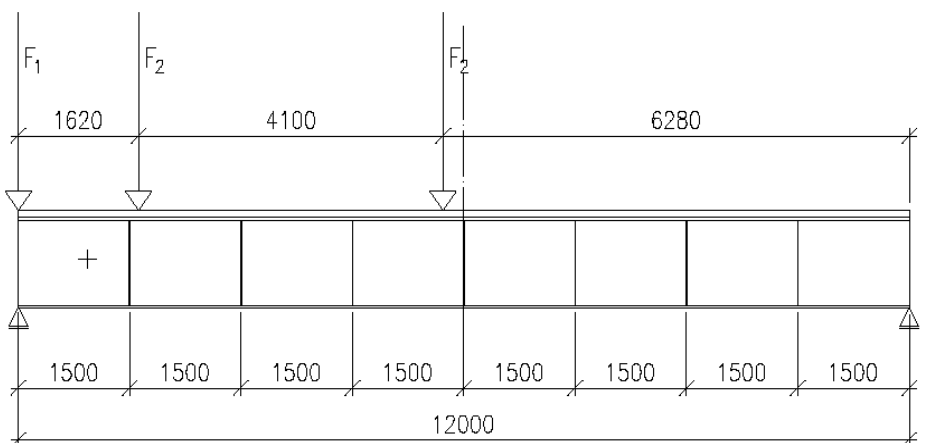
$$\begin{aligned} W_{f,y} &= \frac{1}{2} * b * t_{f2} * (h + h_w) = 0,5 * 0,4 * 0,03 * (1,2 + 1,134) \\ &= 0,014 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

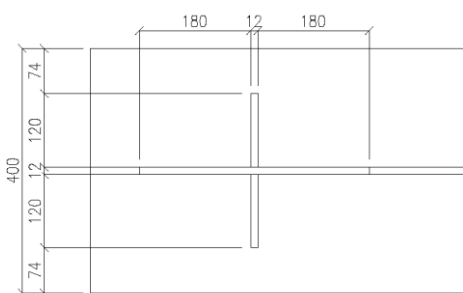
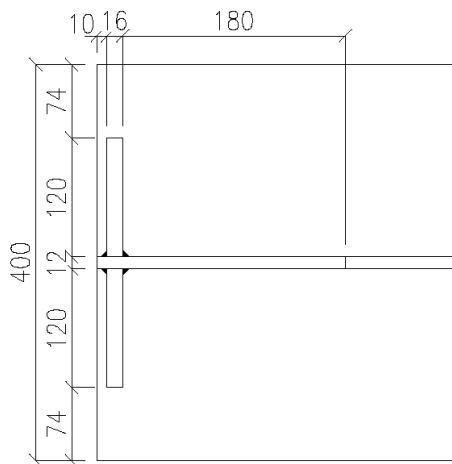
$$M_{f,Rd} = \frac{W_{f,y} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,014 * 355 * 10^6}{1,0} = 4970,00 \text{ kN}$$

$$\frac{(A_{f1} + A_{f2}) * f_y}{\gamma_{M0}} = 9372,00 \text{ kN}$$

$$572,779 \leq \left(1 - \frac{38,803}{9372}\right) * 4970 = 4949,423 \text{ kNm} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

- Příklad bez ohybového momentu:





$$V_{Ed} = R_{a,g} + R_{a,F} = 51,1 + 661,95 = 713,05 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd}} \leq 1,0 \rightarrow \frac{713,05}{2049,978 + 241,587} = 0,31 \leq 1,0 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Posouzení koncových výztuh:

$$s_1 = 15 * \varepsilon * t_w = 15 * 1,0 * 0,012 = 0,18 \text{ m}$$

$$b_{st} = 0,12 \text{ m}$$

$$t_{st} = 0,016 \text{ m}$$

$$s_0 = 0,01 \text{ m}$$

$$s_I = 0,18 \text{ m}$$

$$t_w = 0,012 \text{ m}$$

$$b = 0,4 \text{ m}$$

$$A_{st} = 6,312 * 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$I_{st} = 2,136 * 10^{-5} \text{ m}^4$$

Posouzení koncové výztuhy na vzpěr:

$$l_{st,cr} = 0,75 h_w = 0,75 * 1,134 = 0,851 \text{ m}$$

$$\bar{\lambda}_{st} = \frac{l_{st,cr}}{\pi} * \sqrt{\frac{f_y * A_{st}}{E * I_{st}}} = \frac{0,851}{\pi} * \sqrt{\frac{355 * 10^6 * 6,312 * 10^{-3}}{210 * 10^9 * 2,136 * 10^{-5}}} = 0,191$$

$$\bar{\lambda}_{st} = 0,191 \leq 0,2 \rightarrow \chi = 1,0$$

Návrhová vzpěrná únosnost prutu:

$$N_{st,b,Rd} = \frac{\chi * A_{st} * f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{1 * 6,312 * 10^{-3} * 355 * 10^6}{1} = 2240,76 \text{ kN}$$

$$R_{Ed} = R_{N2,max} = 1008,131 \text{ kN}$$

$$\frac{R_{Ed}}{N_{st,b,Rd}} \leq 1,0 \rightarrow \frac{1008,131}{2240,76} = 0,450 \leq 1,0 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Posouzení mezilehlých výztuh:

$$b_{st} = 0,12 \text{ m}$$

$$t_{st} = 0,012 \text{ m}$$

$$s_0 = 0,018 \text{ m}$$

$$s_I = 0,18 \text{ m}$$

$$t_w = 0,012 \text{ m}$$

$$b = 0,4 \text{ m}$$

$$A_{st} = 14,1 * 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$I_{st} = 1,605 * 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$l_{st,cr} = 0,75 h_w = 0,75 * 1,134 = 0,851 \text{ m}$$

$$\bar{\lambda}_{st} = \frac{l_{st,cr}}{\pi} * \sqrt{\frac{f_y * A_{st}}{E * I_{st}}} = \frac{0,851}{\pi} * \sqrt{\frac{355 * 10^6 * 14,1 * 10^{-3}}{210 * 10^9 * 1,605 * 10^{-5}}} = 0,33$$

$$\phi_{st} = 0,5 * \left[ 1 + \alpha_1 * (\bar{\lambda}_{st} - 0,2) + \bar{\lambda}_{st}^2 \right]$$

$$= 0,5 * [1 + 0,49 * (0,33 - 0,2) + 0,33^2] = 0,586$$

$$\chi_{st} = \frac{1}{\phi_{st} + \sqrt{\phi_{st}^2 - \bar{\lambda}_{st}^2}} = \frac{1}{0,586 + \sqrt{0,586^2 - 0,33^2}} = 0,934$$

Kritická síla:

$$N_{st,Ed} = \frac{\chi_{st} * A_{st} * f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,934 * 1,41 * 10^{-2} * 355 * 10^6}{1} = 4675,137 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{Ed}}{N_{st,Ed}} \leq 1,0 \rightarrow \frac{341,345}{4675,137} = 0,073 \leq 1,0 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Posouzení spoje stojiny a pásnice nosníku:

Navrženy tupé svary:

$$a=0,010m$$

Krční svary pod horní pásnicí:

$$v_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{h_w} = \frac{1008,131 * 10^3}{1,134} = 889,004 \text{ N/mm}$$

Vodorovné napětí ve svarech:

$$\tau_{\parallel} = \frac{v_{Ed}}{2a} = \frac{889,004}{2 * 10} = 44,450 \text{ MPa}$$

Vodorovná napětí v krčních koutových svarech:

$$\sigma_{vert} = \sigma_{oz,Ed} * \frac{t_w}{2 * a + t_w} = 94,190 * 10^6 * \frac{0,012}{2 * 0,010 + 0,012} = 35,321 \text{ MPa}$$

Rozložení na kolmé a rovnoběžné složky:

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_{vert}}{\sqrt{2}} = \frac{35,321}{\sqrt{2}} = 29,976 \text{ MPa}$$

Vodorovné napětí na svarech:

$$\tau_{\parallel} = \tau_{ozx,Ed} * \frac{t_w}{2a} = 18,383 * 10^6 * \frac{0,012}{2 * 0,010} = 11,029 \text{ MPa}$$

Napětí od kroutícího momentu:

$$\sigma_{vert} = \sigma_{T,Ed} \frac{1,0 * t_w^2}{6W} = 70,738 * 10^6 * \frac{1,0 * 0,012^2}{6 * 2,79 * 10^{-4}} = 6,084 \text{ MPa}$$

Napětí od  $\sigma_{vert}$  do kolmé a rovnoběžné složky:

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_{vert}}{\sqrt{2}} = \frac{6,084}{\sqrt{2}} = 4,302 \text{ MPa}$$

Posouzení:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 * (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{m2}}$$

$$\sqrt{(4,302 + 18,164)^2 + 3 * ((4,302 + 18,164)^2 + (11,029 + 44,450)^2)} \leq \frac{360}{0,9 * 1,25}$$

$$106,69 \text{ MPa} \leq 320,00 \text{ MPa} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Krční svary nad spodní pásnicí:

$$v_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{h_w} = \frac{1008,131 * 10^3}{1,134} = 889,004 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{v_{Ed}}{2a} = \frac{889,004}{2 * 10} = 44,450 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 * (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{m2}}$$

$$\sqrt{0 + 3 * (0^2 + 44,450^2)} \leq \frac{360}{0,9 * 1,25}$$

$$76,989 \text{ MPa} \leq 320,00 \text{ MPa} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Mezní stavy použitelnosti:

Svislé průhyby nosníku:

$$\delta_{z,cd} = \frac{l}{600} = \frac{12000}{600} = 20 \text{ mm}$$

Charakteristické zatížení:

*Skupina zatížení I*

$$Q_{1,Char} = 92,638 \text{ kN}$$

$$Q_{2,Char} = 70,614 \text{ kN}$$

Průhyb od kol jeřábů:

$$u_1 = \frac{P_1 * c_1^2 * d_1^2}{3 * E * I_y * l} = \frac{92,638 * 10^3 * 2,834^2 * 9,166^2}{3 * 210 * 10^9 * 0,0104 * 12} = 0,000795 \text{ m}$$

$$u_2 = \frac{P_2 * c_2^2 * d_2^2}{3 * E * I_y * l} = \frac{92,638 * 10^3 * 7,234^2 * 4,766^2}{3 * 210 * 10^9 * 0,0104 * 12} = 0,0014 \text{ m}$$

$$u_3 = \frac{P_3 * c_3^2 * d_3^2}{3 * E * I_y * l} = \frac{70,614 * 10^3 * 8,854^2 * 3,146^2}{3 * 210 * 10^9 * 0,0104 * 12} = 0,000697 \text{ m}$$

Průhyb od spojitých zatížení:

Od vlastní tíhy:

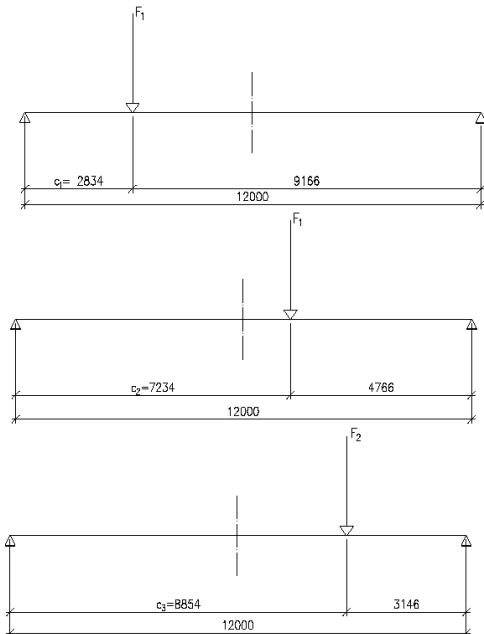
$$u_4 = \frac{5 * q * l^4}{384 * E * I_y} = \frac{5 * 6,3 * 10^3 * 12^4}{384 * 210 * 10^9 * 0,0104} = 0,000789 \text{ m}$$

Od zatížení lávkou:

$$u_5 = \frac{5 * q * l^4}{384 * E * I_y} = \frac{5 * 1,6 * 10^3 * 12^4}{384 * 210 * 10^9 * 0,0104} = 0,000197 \text{ m}$$

Celkový průhyb:

$$\begin{aligned} u &= u_1 + u_2 + u_3 + u_4 + u_5 \\ &= 0,000795 + 0,0014 + 0,000697 + 0,000789 + 0,000197 \\ &= 3,878 * 10^{-3} \text{ m} = 3,878 \text{ mm} \\ u &\leq \delta_{z,cd} \rightarrow 3,877 \text{ mm} \leq 20 \text{ mm} \rightarrow \text{Vyhovuje} \end{aligned}$$



## 9.6 Posouzení na únavu

Návrhová životnost je uvažována jako  $1 \cdot 10^6$  cyklu.

Rozložení návrhového spektra zatížení:

Návrhové spektrum zatížení:		
Vytížení	Počet cyklů v %	Počet cyklů
100%	5	50 000
80%	15	150 000
60%	30	300 000
40%	35	350 000
30%	15	150 000

Součinitel únavového zatížení:

$$\gamma_{Ft} = 1,15$$

Kombinace napjatosti dle:

$$pro \sigma_x; \sigma_z; \tau_{prum} \rightarrow \sigma_1 = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_z^2 - \sigma_x * \sigma_z + 3 * \tau_{prum}^2}$$

$$pro \sigma_x; (\tau_{max} + \tau_{prum}) \rightarrow \sigma_2 = \sqrt{\sigma_x^2 + 3 * (\tau_{max} + \tau_{prum})^2}$$

$$pro \sigma_x; \tau_{max} \rightarrow \sigma_3 = \sqrt{\sigma_x^2 + 3 * \tau_{max}^2}$$

Kombinace zatížení									
Procento vytížení	$\sigma_{x,Ed}$ [Mpa]	$l_{eff}$ [mm]	$\sigma_z$ [Mpa]	$\tau_{max}$ [Mpa]	$\tau_{prum}$ [Mpa]	$\tau_{lok}$ [Mpa]	Kombinace [Mpa]		
							$\sigma_1$	$\sigma_2$	$\sigma_3$
100	146,699	302,000	94,140	27,781	18,164	30,612	132,524	169,286	154,389
80	117,359	241,600	75,312	22,225	14,531	24,490	106,019	135,429	123,511
60	88,019	181,200	56,484	16,669	10,898	18,367	79,514	101,572	92,633
40	58,680	120,800	37,656	11,112	7,266	12,245	53,009	67,715	61,756
30	44,010	90,600	28,242	8,334	5,449	9,184	39,757	50,786	46,317

Mezní výpočet cyklů:

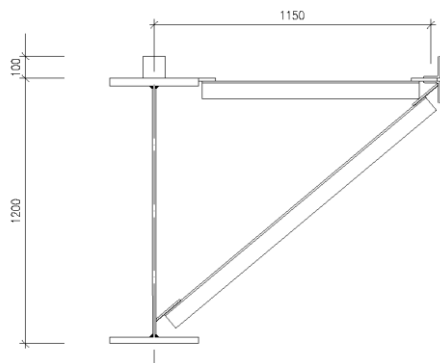
$$Je-li \gamma_{Ft} * \gamma_{M0} * \Delta\sigma_{x,Ed} > \Delta\sigma_D \rightarrow 1,15 * 146,699 = 168,7 MPa > 83 MPa$$

Pak se použije vztah:

$$N_i = 5 * 10^6 * \left( \frac{\Delta\sigma_D}{\gamma_{Ft} * \gamma_{M0} * \Delta\sigma_{x,Ed}} \right)^3$$

Kumulace únavového poškození						
Kategorie detailů:		112	→	$\Delta\sigma_D =$	83 MPa	$\Delta\sigma_L =$
Procento vytížení	$\Delta\sigma$ [MPa]	$\Delta\sigma * \gamma_{Mf}$ [MPa]	Procento cyklů	Počet cyklů $n_i$	$N_i$	$n_i / N_i$
100	169,286	194,679	5	50 000	254 772	0,196
80	135,429	155,744	15	150 000	497 601	0,301
60	101,572	116,808	30	300 000	1 179 498	0,254
40	67,715	77,8718	35	350 000	3 980 805	0,088
30	50,786	58,4038	15	150 000	9 435 983	0,016
			Σ	1 000 000	Σ	0,856

$$Vyhovuje, celkové poškození:  $D_d = \sum \frac{n_i}{N_i} = 0,856 < 1,0$$$



## 9.7 Vodorovný výztužný nosník.

Vodorovný výztužný nosník jeřábové dráhy je zatížen bočními rázy jeřábů, vlastní tíhou a proměnným zatížením lávky. Nosník je navržen jako příhradový, prostě uložený. Rozpětí nosníku je  $l = 12$  m.

Výpočet vnitřních sil:

- Jeřáb 32/8t:

- Pro skupinu zatížení č. 4

$$F_{T,4} = \gamma_Q \varphi_5 H_{T,1} = 1,35 * 1,5 * 12,794 = 25,908 \text{ kN}$$

- Pro skupinu zatížení č. 5

$$F_{T,5} = \gamma_Q * H_{S,2,1,T} = 1,35 * 58,068 = 78,392 \text{ kN}$$

- Pro skupinu zatížení č. 6

$$F_{T,6} = \gamma_Q * H_{T3,1} = 1,35 * 80,800 = 109,08 \text{ kN}$$

- Jeřáb 20/5t:

- Pro skupinu zatížení č. 4

$$F_{T,4} = \gamma_Q \varphi_5 H_{T,1} = 1,35 * 1,5 * 9,771 = 19,786 \text{ kN}$$

- Pro skupinu zatížení č. 5

$$F_{T,5} = \gamma_Q * H_{S,2,1,T} = 1,35 * 39,508 = 53,336 \text{ kN}$$

- Pro skupinu zatížení č. 6

$$F_{T,6} = \gamma_Q * H_{T3,1} = 1,35 * 77,483 = 104,602 \text{ kN}$$

### 9.7.1 Vodorovný pásový prut

Vnitřní síly:

Maximální tlaková síla působí při rozjezdu nebo brzdění jeřábů v prutu uprostřed rozpětí nosníku, maximální tahová síla působí při přícení jeřábu také uprostřed rozpětí nosníku.

Pořadnice příčinkových čar:

$$\eta_1 = \frac{1}{4} * \frac{l}{h_{sg}} = \frac{1}{4} * \frac{12}{1,15} = 2,6$$

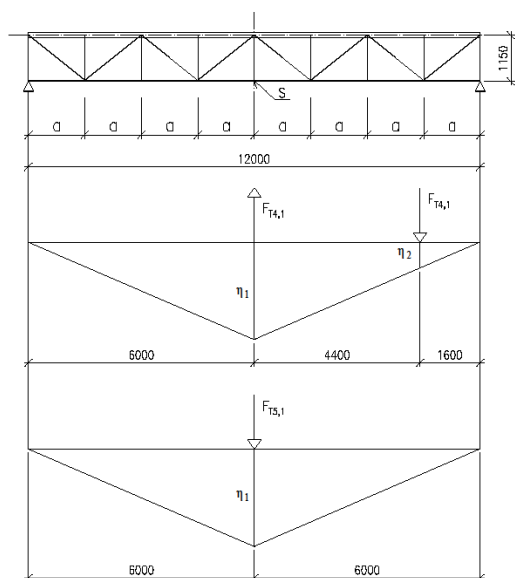
$$\eta_2 = 2,6 * \frac{1,6}{6} = 0,693$$

Maximální tlaková síla od rozjezdových, nebo příčných zatížení:

$$N_{c,Ed} = F_{T4,1} * (\eta_1 - \eta_2) = 25,908 * (2,6 - 0,693) = 49,407 \text{ kN}$$

Maximální tahová síla zatížení příčnou silou od přícení jeřábů:

$$N_{t,Ed} = F_{T5,1} * \eta_1 = 78,392 * 2,6 = 203,819 \text{ kN}$$



Účinky od stálého zatížení:

Vlastní tíha:

$$g = 1,125 \text{ kN/m}$$

$$g_d = \gamma_{G, sup} * g = 1,35 * 1,125 = 1,52 \text{ kN/m}$$

Rozteče podpor:

$$l_s = 3,0 \text{ m}$$

$$M_g = 0,1 * g_d * l_s^2 = 0,1 * 1,52 * 3^2 = 1,368 \text{ kNm}$$

Užitné zatížení lávky:

$$Q_d = \gamma_Q * Q_k = 1,5 * 3 = 4,5 \text{ kN/m}$$

$$M_Q = 0,2 * Q_d * l_s = 0,2 * 4,5 * 3 = 2,7 \text{ kNm}$$

Vodorovný výztužný nosník – dimenzování:

Průřez:	2x L100/75/8	
A=	0,0027	m
e=	0,105	m
h <sub>0</sub> =	0,072	m
I <sub>y</sub> =	6,16E-06	m <sup>4</sup>
I <sub>z</sub> =	1,28E-06	m <sup>4</sup>
I <sub>t</sub> =	5,9E-08	m <sup>4</sup>
W <sub>el,y</sub> =	5,867E-05	m <sup>3</sup>

Kritické délky:

$$L_y = 3,0 \text{ m}$$

$$L_z = 1,5 \text{ m}$$

Zatřídění průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

$$\frac{b + h_a}{2 * t_a} = \frac{75 + 100}{2 * 8} = 10,9 < 11,5 * \varepsilon \rightarrow \text{Průřez 3. třídy}$$

Kritický moment:

$$M_{cr} = C_1 * \left[ \sqrt{1 + K_{wt}^2 + (C_2 * \zeta_g)^2} - C_2 * \zeta_g \right] * \frac{\pi * \sqrt{EI_z}}{L_z} =$$

$$M_{cr} = 0,95 * \left[ \sqrt{1 + 0^2 + (0,31 * 0)^2} - 0,31 * 0 \right]$$

$$* \frac{\pi * \sqrt{210 * 10^9 * 1,28 * 10^{-6} * 81 * 10^9 * 5,9 * 10^{-8}}}{1,5}$$

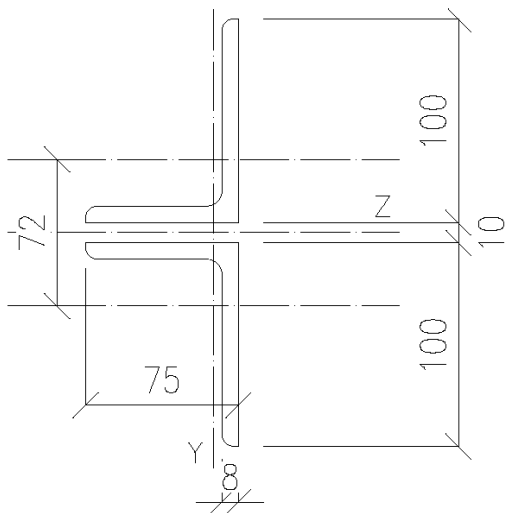
$$= 71,312 \text{ MPa}$$

Poloměr setrvačnosti:

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{6,16 * 10^{-6}}{2,7 * 10^{-3}}} = 0,0478 \text{ m}$$

Kritická štíhlost:

$$\lambda_z = \frac{l_{cr,z}}{i_z} = \frac{1,5}{0,0478} = 31,38$$





Charakteristické únosnosti v prostém tlaku a ohybu:

$$N_{RK} = A * f_y = 0,0027 * 235 * 10^6 = 634,5 \text{ kN}$$

$$M_{Rk} = W_{el,y} * f_y = 5,867 * 10^{-5} * 235 * 10^6 = 13,787 \text{ kNm}$$

Poměrné štíhlosti:

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{31,38}{93,91} = 0,334$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{M_{Rk}}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{13,787}{71,312}} = 0,440$$

$$\begin{aligned} \phi_{LT} &= 0,5 * [1 + \alpha_1 * (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2] \\ &= 0,5 * [1 + 0,34 * (0,440 - 0,2) + 0,440^2] = 0,638 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi_z &= 0,5 * [1 + \alpha_1 * (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] \\ &= 0,5 * [1 + 0,34 * (0,334 - 0,2) + 0,334^2] = 0,579 \end{aligned}$$

Součinitele vzpěrnosti:

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0,638 + \sqrt{0,638^2 - 0,440^2}} = 0,909$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,579 + \sqrt{0,579^2 - 0,334^2}} = 0,950$$

Interakční součinitel  $k_{zy}$ :

$$\begin{aligned} k_{zy} &= 1 - \frac{0,05 * \bar{\lambda}_z}{C_{m,LT} - 0,25} * \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z * N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} = 1 - \frac{0,05 * 0,44}{0,95 - 0,25} * \frac{195,98}{\frac{0,950 * 634,5}{1,0}} \\ &= 0,989 \end{aligned}$$

Posouzení na vybočení:

$$\begin{aligned} \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z * N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} * \frac{M_{Ed}}{\frac{\chi_{LT} * M_{Rk}}{\gamma_{M1}}} &\leq 1,0 \\ &\rightarrow \frac{49,407}{\frac{0,950 * 634,5}{1,0}} + 0,989 * \frac{1,368}{\frac{0,909 * 13,787}{1,0}} \leq 1,0 \\ &\rightarrow 0,189 \leq 1,0 \rightarrow \text{Vyhovuje} \end{aligned}$$

Posouzení na namáhání od stálého zatížení a sil od přičení jeřábů:

$$\begin{aligned} N_{Rd} = N_{t,Rd} &= \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,0027 * 235 * 10^6}{1,0} = 635 \text{ kN} \\ M_{Rd} = M_{c,Rd} &= \frac{W_{el,y} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{5,87 * 10^{-8} * 235 * 10^6}{1,0} = 13,795 \text{ kNm} \\ \frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} &\leq 1,0 \rightarrow \frac{203,819}{635} + \frac{1,368}{13,795} = 0,42 \leq 1,0 \rightarrow \leq 1,0 \text{ Vyhovuje} \end{aligned}$$

## 9.7.2 Diagonály

Diagonála D1:

$$d = \sqrt{h_{sg}^2 + a^2} = \sqrt{1,5^2 + 1,15^2} = 1,89 \text{ m}$$

$$\cos \alpha = \frac{h_{sg}}{d} = \frac{1,5}{1,89} = 0,793$$

Teoretická pořadnice v místě podpory:

$$\eta_0 = \frac{1}{\cos \alpha} = \frac{1}{0,793} = 1,26$$

Pořadnice příčinkové čáry:

$$\eta_1 = 1,26 * \frac{10,5}{12} = 1,1$$

$$\eta_2 = 1,26 * \frac{6,1}{12} = 0,640$$

$$\eta_3 = 1,26 * \frac{4,48}{12} = 0,470$$

$$\eta_5 = 1,26 * \frac{4,78}{12} = 0,502$$

Maximální tlaková síla od rozjezdových, nebo příčných zatížení:

$$N_{c,Ed} = F_{T4,1} * (\eta_1 - \eta_2) + F_{T4,2} * \eta_3 = 25,908 * (1,1 - 0,640) + 19,786 * 0,502 = 21,217 \text{ kN}$$

Maximální tahová síla zatížení příčnou silou od příčení jeřábů:

$$N_{t,Ed} = F_{T5,1} * \eta_1 + F_{T5,2} * \eta_3 = 78,392 * 1,1 + 53,336 * 0,502 = 113,006 \text{ kN}$$

Diagonála D2:

Pořadnice příčinkové čáry:

$$\eta_1 = 1,26 * \frac{9}{12} = 0,945$$

$$\eta_2 = 1,26 * \frac{3,28}{12} = 0,344$$

$$\eta_3 = 1,26 * \frac{1,38}{12} = 0,145$$

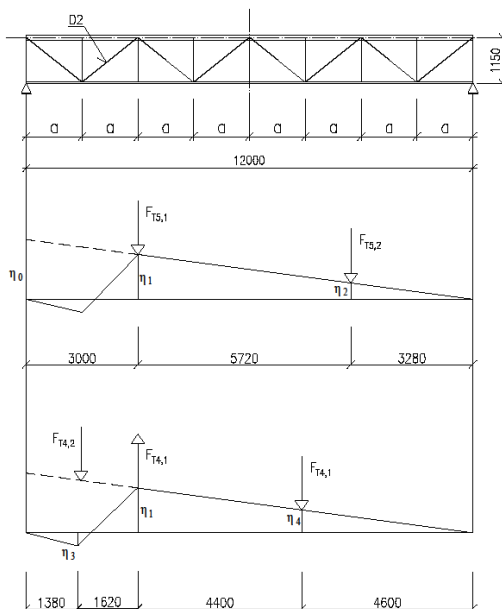
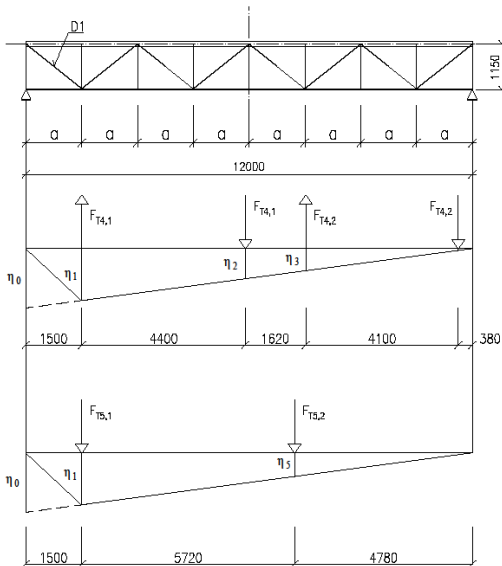
$$\eta_4 = 1,26 * \frac{4,8}{12} = 0,504$$

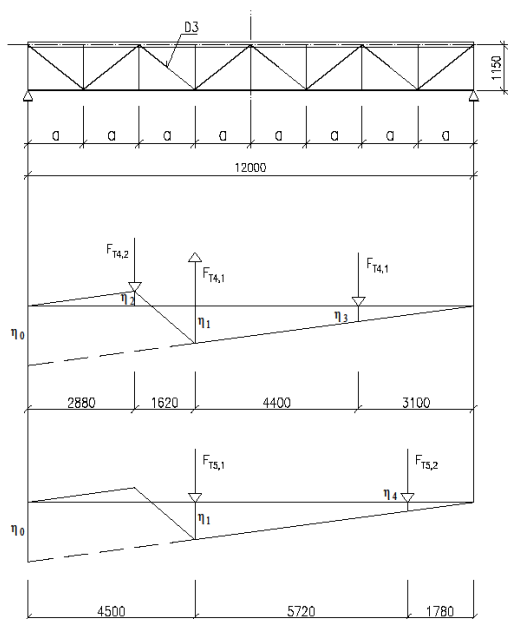
Maximální tahová síla od rozjezdových, nebo příčných zatížení:

$$N_{t,Ed} = F_{T4,1} * (\eta_1 - \eta_4) + F_{T4,2} * \eta_3 = 25,908 * (0,945 - 0,504) + 19,786 * 0,145 = 14,294 \text{ kN}$$

Maximální tlaková síla zatížení příčnou silou od příčení jeřábů:

$$N_{c,Ed} = F_{T5,1} * \eta_1 + F_{T5,2} * \eta_2 = 78,392 * 0,945 + 53,336 * 0,344 = 92,428 \text{ kN}$$





### Diagonála D3:

Pořadnice příčinkové čáry:

$$\eta_1 = 1,26 * \frac{7,5}{12} = 0,788$$

$$\eta_2 = 1,26 * \frac{2,88}{12} = 0,302$$

$$\eta_3 = 1,26 * \frac{3,1}{12} = 0,325$$

$$\eta_4 = 1,26 * \frac{1,78}{12} = 0,187$$

Maximální tlaková síla od rozjezdových, nebo příčných zatížení:

$$N_{c,Ed} = F_{T4,1} * (\eta_1 - \eta_3) + F_{T4,2} * \eta_2 = 25,908 * (0,788 - 0,325) + 19,786 * 0,302 = 17,971 \text{ kN}$$

Maximální tahová síla zatížení příčnou silou od příčení jeřábů:

$$N_{t,Ed} = F_{T5,1} * \eta_1 + F_{T5,2} * \eta_4 = 78,392 * 0,788 + 53,336 * 0,187 = 71,746 \text{ kN}$$

### Diagonála D4:

Pořadnice příčinkové čáry:

$$\eta_1 = 1,26 * \frac{6}{12} = 0,630$$

$$\eta_2 = 1,26 * \frac{4,5}{12} = 0,4725$$

Maximální tlaková síla příčení jeřábu:

$$N_{c,Ed} = F_{T5,1} * \eta_1 = 78,392 * 0,630 = 49,386 \text{ kN}$$

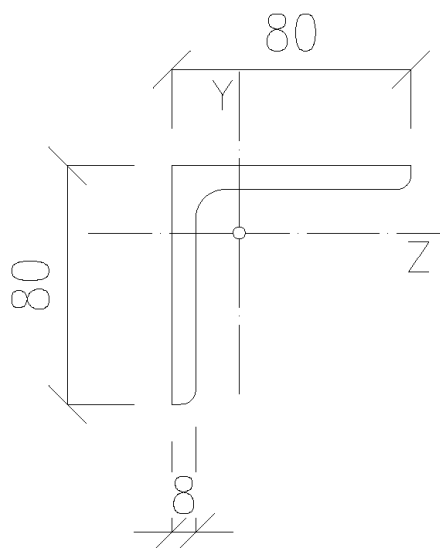
Maximální tahová síla zatížení příčnou silou od příčení jeřábů:

$$N_{t,Ed} = F_{T5,1} * \eta_2 = 78,392 * 0,4725 = 37,040 \text{ kN}$$

Dimenzování:

Diagonály jsou navrženy na sílu vznikající v diagonále D1, tlaková síla  $N_{c,Ed}=92,428 \text{ kN}$ , tahová síla  $N_{t,Ed}=113,006 \text{ kN}$ .

Diagonála je navržena jako úhelník L80/80/8



Průřez:	L80/8	
h=	0,08	m
b=	0,08	m
t=	0,008	m
A=	0,001227	m <sup>2</sup>
A <sub>L</sub> =	0,3114	m <sup>2</sup>
I <sub>y</sub> =	7,22E-07	m <sup>4</sup>
I <sub>z</sub> =	7,22E-07	m <sup>4</sup>
I <sub>t</sub> =	2,66E-06	m <sup>4</sup>
W <sub>el,y</sub> =	0,0000126	m <sup>3</sup>
W <sub>el,z</sub> =	0,0000126	m <sup>3</sup>

Materiál:

$$f_y = 235 \text{ MPa}$$

$$E = 210 \text{ GPa}$$

Zatřídění průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

$$\frac{c}{t} < 15 * \varepsilon \rightarrow \frac{80}{8} < 15 * 1,0 \rightarrow 10 < 15 \rightarrow 3. \text{ Třída}$$

Poloměry setrvačnosti:

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{7,22 * 10^{-7}}{1,227 * 10^{-3}}} = 0,0242 \text{ m}$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{7,22 * 10^{-7}}{1,227 * 10^{-3}}} = 0,0242 \text{ m}$$

Kritická délka:

$$L_{cr} = 0,7 * d + 0,35 * \lambda_1 * i_z = 0,7 * 1,89 + 0,35 * 93,9 * 0,0242 = 2,11 \text{ m}$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr}}{\pi * i_z} * \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{2,11}{\pi * 0,0155} * \sqrt{\frac{235 * 10^6}{210 * 10^9}} = 0,920$$

$$\begin{aligned} \phi &= 0,5 * [1 + \alpha_1 * (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] \\ &= 0,5 * [1 + 0,34 * (0,920 - 0,2) + 0,920^2] = 1,052 \end{aligned}$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1,052 + \sqrt{1,052^2 - 0,920^2}} = 0,644$$

Návrhová tlaková pevnost:

$$N_{b,rd} = \frac{\chi * A * f_y}{\gamma_{m1}} = \frac{0,644 * 1,227 * 10^{-3} * 235 * 10^6}{1,00} = 185,783 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$\frac{N_{ed}}{N_{b,rd}} < 1,0 \rightarrow \frac{92,428}{185,783} < 1,0 \rightarrow 0,50 < 1,0 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Návrhová tahová síla:

$$N_{t,rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,227 * 10^{-3} * 235 * 10^6}{1,0} = 288,345 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$\frac{N_{ed}}{N_{rd}} \leq 1,0 \rightarrow \frac{113,006}{288,345} \leq 1,0 \rightarrow 0,399 \leq 1,0 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

### 9.7.3 Svislice

Maximální tlaková síla při zatížení příčnou silou od příčení jeřábu:

$$N_{c,Ed} = F_{T5,1} * \eta_1 = 78,392 * 1,0 = 78,392 \text{ kN}$$

Maximální tahová síla při zatížení silou od brzdění, nebo rozjezdu:

$$N_{t,Ed} = F_{T4,1} * \eta_1 = 25,908 * 1,0 = 25,908 \text{ kN}$$

Zatížení od revizní lávky:

$$g = 1,6 \text{ kN/m}$$

$$a = 1,5 \text{ m}$$

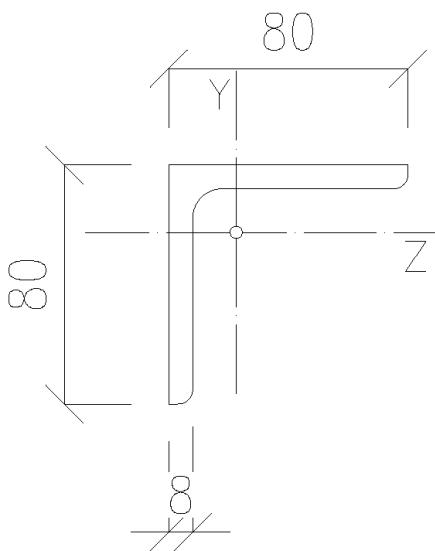
$$G = 0,5 * g * a = 0,5 * 1,6 * 1,5 = 1,2 \text{ kN}$$

$$G_d = \gamma_{G,sup} * G = 1,35 * 1,2 = 1,62 \text{ kN}$$

$$M_G = G_d * \frac{0,55 * 0,45}{1} = 1,62 * \frac{0,2475}{1} = 0,4 \text{ kNm}$$

Dimenzování:

Svislice je navržena jako úhelník L80/80/8



Průřez:	L80/8	
h=	0,08	m
b=	0,08	m
t=	0,008	m
A=	0,001227	m <sup>2</sup>
A <sub>L</sub> =	0,3114	m <sup>2</sup>
I <sub>y</sub> =	7,22E-07	m <sup>4</sup>
I <sub>z</sub> =	7,22E-07	m <sup>4</sup>
I <sub>t</sub> =	2,66E-07	m <sup>4</sup>
W <sub>el,y</sub> =	0,0000126	m <sup>3</sup>
W <sub>el,z</sub> =	0,0000126	m <sup>3</sup>

Materiál:

$$f_y = 235 \text{ MPa}$$

$$E = 210 \text{ GPa}$$

Zatřídění průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

$$\frac{c}{t} < 15 * \varepsilon \rightarrow \frac{80}{8} < 15 * 1,0 \rightarrow 10 < 15 \rightarrow 3. \text{ Třída}$$

Poloměry setrvačnosti:

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{7,22 * 10^{-7}}{1,227 * 10^{-3}}} = 0,0243 \text{ m}$$

Kritická délka:

$$L_{cr} = 0,7 * v + 0,5 * \lambda_1 * i_z = 0,7 * 1,0 + 0,5 * 93,9 * 0,0243 = 1,84 \text{ m}$$

Charakteristická únosnost v prostém tlaku:

$$N_{Rk} = A * f_y = 1,227 * 10^{-3} * 235 * 10^6 = 288,345 \text{ kN}$$

Charakteristická únosnost v prostém ohybu:

$$M_{Rk} = W_{el,z} * f_y = 1,26 * 10^{-5} * 235 * 10^6 = 2,96 \text{ kNm}$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_z = \frac{L_{cr}}{\pi * i_z} * \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{1,84}{\pi * 0,0243} * \sqrt{\frac{235 * 10^6}{210 * 10^9}} = 0,806$$

$$\begin{aligned} \phi_z &= 0,5 * [1 + \alpha_1 * (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] \\ &= 0,5 * [1 + 0,34 * (0,806 - 0,2) + 0,806^2] = 0,928 \end{aligned}$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0,928 + \sqrt{0,928^2 - 0,806^2}} = 0,720$$

Interakční součinitel  $k_{zz}$ :

$$\begin{aligned} k_{zz} &= C_{mz} * \left( 1 + 0,6 * \bar{\lambda}_z * \frac{N_{Ed}}{\chi * N_{Rk}} \right) \\ &= 0,95 * \left( 1 + 0,6 * 0,806 * \frac{78,392}{0,720 * 288,345} \right) = 1,123 \end{aligned}$$

Posouzení:

$$\begin{aligned} \frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{Rk,z}}}{\gamma_{M1}} + k_{yz} * \frac{\frac{M_{Ed}}{M_{Rk}}}{\gamma_{M1}} &\leq 1,0 \rightarrow \frac{78,392}{0,72 * 288,345} + 1,123 * \frac{0,4}{2,96} = \\ 0,529 &\leq 1,0 \rightarrow \text{Vyhovuje} \end{aligned}$$

Připojení mezipásových diagonál na styčnickový plech tl. 12mm:

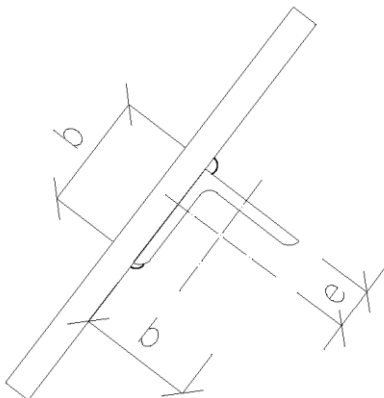
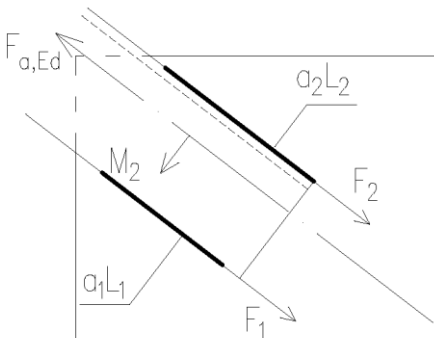
Svarový spoj u přilehlé příruby navrhuji o tloušťce  $a_1=5\text{mm}$  délky  $L_1=50\text{ mm}$ , svarový spoj u odstávající příruby  $a_2=5\text{ mm}$  a délky  $L_2=160\text{ mm}$ .

$$F_1 = F_{a,Ed} \frac{e}{b} = 113,006 * 10^3 * \frac{0,0226}{0,08} = 31,924 \text{ kN}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_1}{a_1 * L_1} = \frac{31,924 * 10^3}{0,005 * 0,05} = 127,696 \text{ MPa}$$

Posouzení:

$$\begin{aligned} \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 * (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} &\leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{m2}} \\ \sqrt{0 + 3 * (0^2 + 127,696^2)} &\leq \frac{360}{0,8 * 1,25} \\ 221,176 \text{ MPa} &\leq 360 \text{ MPa} \rightarrow \text{Vyhovuje} \end{aligned}$$



$$F_2 = F_{a,Ed} \frac{b - e}{b} = 113,006 * 10^3 * \frac{0,08 - 0,0226}{0,08} = 81,081 \text{ kN}$$

$$M_2 = \frac{F_{a,Ed} * b}{4} = \frac{113,006 * 0,08}{4} = 2,260 \text{ kNm}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_2}{a_2 * L_2} = \frac{81,081 * 10^3}{0,005 * 0,16} = 101,351 \text{ MPa}$$

$$\sigma_t = \frac{M_{ed}}{a_2 * L_2^2} = \frac{6 * 2,26 * 10^3}{0,005 * 0,16^2} = 105,937 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_M}{\sqrt{2}} = \frac{64,195}{\sqrt{2}} = 74,909 \text{ MPa}$$

Posouzení:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 * (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{m2}}$$

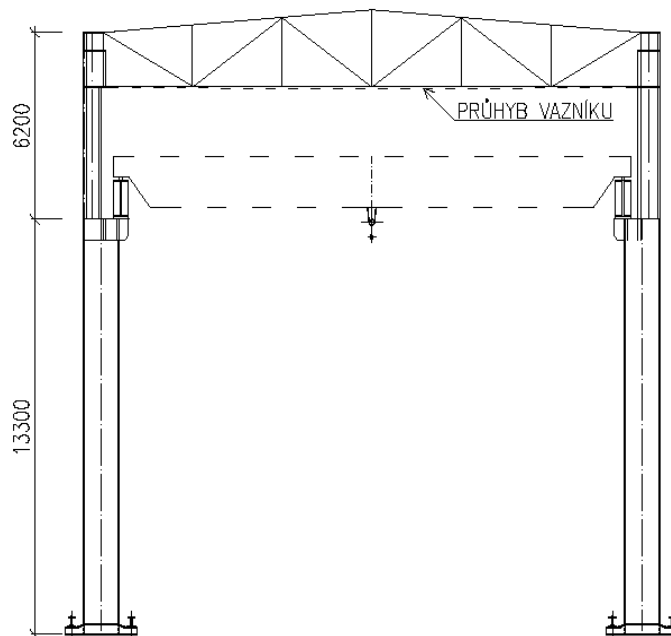
$$\sqrt{74,909^2 + 3 * (74,909^2 + 105,937^2)} \leq \frac{360}{0,8 * 1,25}$$

$$230,784 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

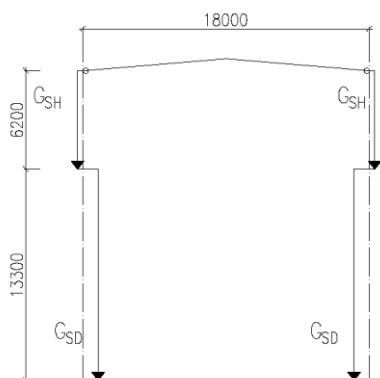
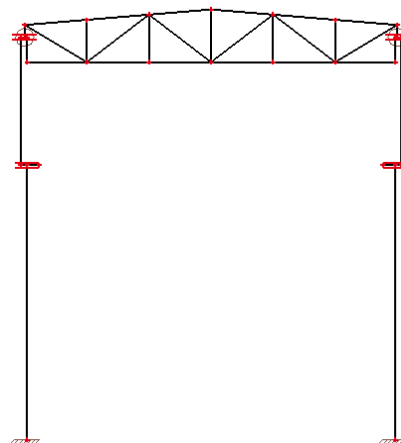
## 10. Příčná vazba

Příčná vazba je tvořena vetknutými sloupy, na kterých je kloubově uložen vazník.

### 10.1 Geometrie



Statické schéma:



### 10.2 Zatížení

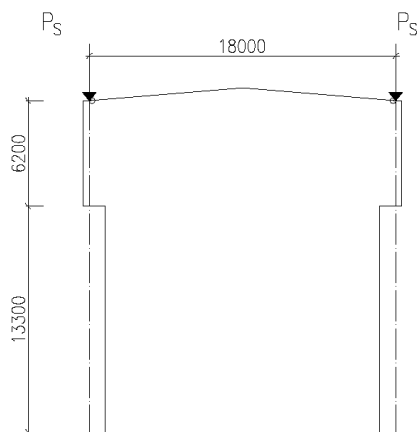
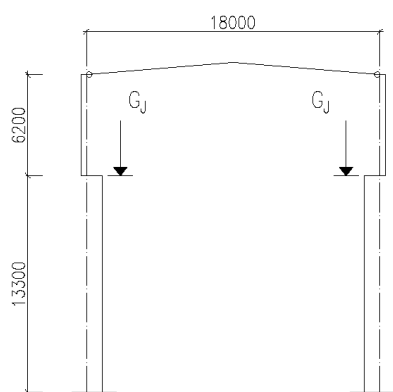
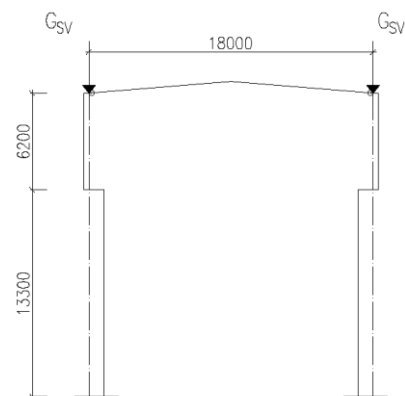
Výpočtové zatížení stálé:

Vlastní tíha sloupu:

ZS1 Vlastní tíha						
Prvek		Odhadované zatížení	Délka prvku	Součinitel zatížení	Výsledné zatížení	
Špička	$G_{SH}$	2 kN/m	6,2 m	1,1	13,64	kN
Špička	$G_{SH}$	2 kN/m	6,2 m	0,9	11,16	kN
Dřík	$G_{SD}$	3 kN/m	13,3 m	1,1	43,89	kN
Dřík	$G_{SD}$	3 kN/m	13,3 m	0,9	35,91	kN



## Stálé zatížení střechou:



ZS2 Stálé zatížení střechou					
Prvek	Zatížení na m <sup>2</sup>		Zatěžovací plocha		Výsledné zatížení
Střešní panel	0,15	kN/m <sup>2</sup>	108	m <sup>2</sup>	16,2 kN
Vaznice	0,21	kN/m <sup>2</sup>	108	m <sup>2</sup>	22,68 kN
Vazník	0,19	kN/m <sup>2</sup>	108	m <sup>2</sup>	20,52 kN
Vybavení haly	0,15	kN/m <sup>2</sup>	108	m <sup>2</sup>	16,2 kN
Celkem				75,6	kN
Pro součinitel $\gamma_{sup}$			1,1	83,16	kN
Pro součinitel $\gamma_{inf}$			0,9	74,844	kN

## Vlastní tíha jeřábové dráhy:

ZS3 Tíha jeřábové dráhy				
Prvek	Zatížení na m <sup>-1</sup>		Délka prvku	Výsledné zatížení
Hlavní nosník	4	kN/m	12 m	48 kN
Vodorovný výztužný nosník	1,5	kN/m	12 m	18 kN
Kolejnice	0,8	kN/m	12 m	9,6 kN
Celkem Gj				27,6 kN
Pro součinitel $\gamma_{sup}$			1,1	30,36 kN
Pro součinitel $\gamma_{inf}$			0,9	27,324 kN

## Zatížení nahodilé:

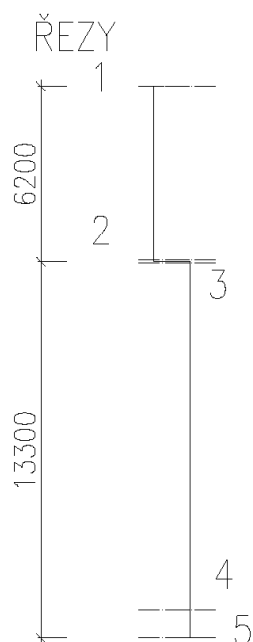
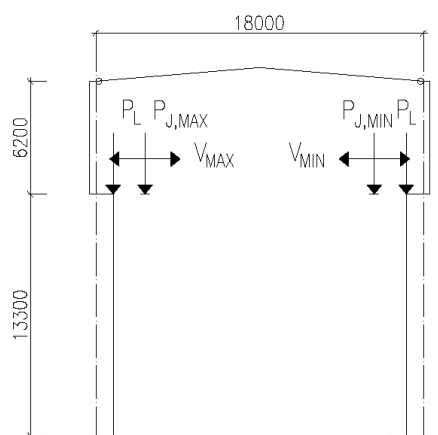
### Zatížení sněhem:

ZS4 Zatížení sněhem					
		Zatížení na m <sup>2</sup>		Zatěžovací plocha	
				Výsledné zatížení	
Sníh	Ps	1,5	kN/m <sup>2</sup>	108	m <sup>2</sup>
Sníh	Ps	0,75	kN/m <sup>2</sup>	108	m <sup>2</sup>

### Zatížení větrem:

ZS5 Zatížení větrem						
Ozn.	Kw	$\gamma_f$	šířka	Tlak/sání	Vítr	
w <sub>1,D</sub>	1	1,2	6	0,8	0,588	3,38688 kN/m
w <sub>1,D</sub>	1	1,2	6	0,6	0,588	2,54016 kN/m
w <sub>1,H</sub>	1,13	1,2	6	0,8	0,588	3,827174 kN/m
w <sub>1,D</sub>	1,13	1,2	6	0,6	0,588	2,870381 kN/m

Od mezisloupků					
Vs	3,827174	kN/m <sup>2</sup>	6,2	m	23,73 kN
Vs'	2,870381	kN/m <sup>2</sup>	6,2	m	17,80 kN



Síly od střechy					
$P_v$	0,531552	kN/m <sup>2</sup>	$P=$	32,291784	kN
$P_v'$	0,398664	kN/m <sup>2</sup>	$P=$	27,9862128	kN

Zatížení jeřábovou dráhou:

ZS6 Zatížení účinky od jeřábové dráhy				
Působení	Typ	Ozn.	Výsledné zatížení	
Svislá akce	Max	$P_{J,MAX}$	696,29	kN
Svislá akce	Min	$P_{J,MIN}$	217,32	kN
Vodorovná akce	Max	$V_J$	69,629	kN
Vodorovná akce	Min	$V_J$	21,732	kN
Zatížení lávky		$P_L$	19,2	kN

Kombinace zatížení:

K1: ZS1 + ZS2 + ZS3 + ZS6

K2: ZS1 + ZS2 + ZS3 + ZS5

K3: ZS1 + ZS2 + ZS3 +  $\psi_0$ ZS4 +  $\psi_0$ ZS5

K4: ZS1 + ZS2 + ZS3 + ZS6 +  $\psi_0$ ZS4 +  $\psi_0$ ZS5

10.2. Vnitřní síly:

Kombinace						
Pozice		K1	K2	K3	K4	Max. hodnoty
1-1	N	-90,41	-252,47	-172,67	-172,23	-252,47
	V	0,64	1,69	-5,64	-5,83	-5,83
	M	10,9	28,72	30,7	31,31	31,31
2-2	N	-103,3	-265,36	-185,66	-185,62	-265,36
	V	0,68	1,69	-16,31	-16,48	-16,48
	M	14,86	39,19	-49,36	-49,8	-49,8
3-3	N	-830,99	-266,4	-186,6	-434,34	-830,99
	V	-69,13	1,69	-16,31	-86,11	-86,11
	M	-103,3	66,91	107,95	-42,1	107,95
4-4	N	-896,62	-332,06	-252,23	-499,97	-896,62
	V	-69,13	1,69	-16,31	-104,35	-104,35
	M	728,45	46,69	405,51	1048,94	1048,94
5-5	N	-903,91	-339,33	-259,22	-507,26	-903,91
	V	-69,13	1,69	-36,58	-106,38	-106,38
	M	820,2	44,44	452,05	1256,99	1256,99

Síly byly vypočítány pomocí programu Scia Engineer.

Pro vybočení v rovině příčné vazby je nutno uvažovat rám jako celek.

$$\beta = \frac{I_{H,y}}{I_{D,y}} = 0,115$$

$$n = \frac{l_h}{l_d} = \frac{6,2}{13,3} = 0,466$$

$$k = \frac{\beta}{n} = \frac{0,115}{0,466} = 0,247$$

$$m = \frac{F_H}{F_D} = 2,928$$

$$c = n * \sqrt{\frac{1}{m * \beta}} = 0,466 * \sqrt{\frac{1}{2,928 * 0,115}} = 0,803$$

Součinitele vzpěrné délky pro:

$$\text{Dřík: } \gamma_1 = 2,51 ; \text{ Špičku: } \gamma_2 = \frac{\gamma_1}{c} = \frac{2,51}{0,803} = 3,125$$

Hodnoty byly stanoveny pomocí lineární interpolace z tabulky 42 (Melcher, Straka 1977)

## 10.3 Dimenzování

### 10.3.1 Návrh a posouzení špičky sloupu

Špička sloupu je navržena z profilu HEB 600.

Bude dimenzována na maximální síly:

$$N_{Ed} = 830,99 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 107,95 \text{ kNm}$$

Profil HEB 600:

Průřez:	HEB 600	
h=	0,6	m
b=	0,3	m
t=	0,03	m
A=	0,027	m <sup>2</sup>
A <sub>L</sub> =	2,32	m <sup>2</sup>
I <sub>y</sub> =	0,00171	m <sup>4</sup>
I <sub>z</sub> =	0,000135	m <sup>4</sup>
I <sub>t</sub> =	6,73E-06	m <sup>4</sup>
W <sub>el,y</sub> =	0,005701	m <sup>3</sup>
W <sub>el,z</sub> =	0,000902	m <sup>3</sup>

Materiál:

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$E = 210 \text{ GPa}$$

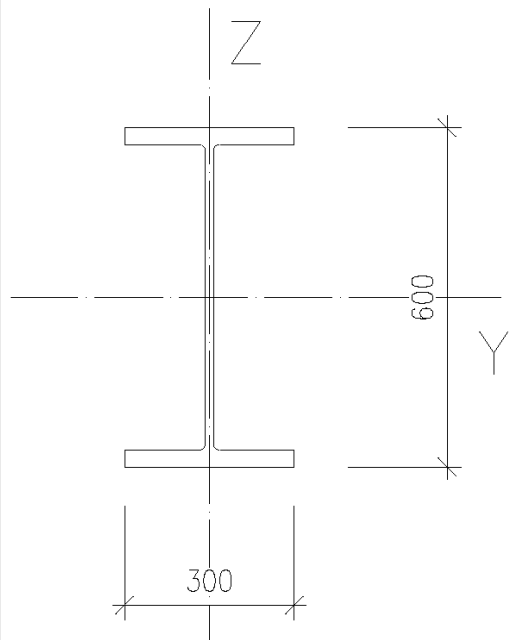
Délka špičky je 6,2 m.

Vzpěrné délky:

$$\text{Vzpěrná délka v rovině vazby: } L_{cr,y} = \gamma_2 * l_h = 3,125 * 6,2 = 19,375 \text{ m}$$

$$\text{Vzpěrná délka z roviny vazby: } L_{cr,z} = 1,0 * l_h = 1,0 * 6,2 = 6,2 \text{ m}$$

$$\text{Vzpěrná délka v kroucení: } L_{cr,T} = 1,0 * l_h = 1,0 * 6,2 = 6,2 \text{ m}$$



Zatřídění průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

$$\frac{c}{t} < 9 * \varepsilon \rightarrow \frac{115}{30} < 9 * 0,81 \rightarrow 3,83 < 7,29 \rightarrow 1. \text{ Třída}$$

Součinitel  $\alpha = 0,21$ , podle křivky  $c$  tabulka 6.1 norma [5]

Poloměry setrvačnosti:

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{1,35 * 10^{-4}}{2,7 * 10^{-2}}} = 0,0707 \text{ m}$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{1,71 * 10^{-3}}{2,7 * 10^{-2}}} = 0,251 \text{ m}$$

$$i_p = \sqrt{i_z^2 + i_y^2 + t^2} = \sqrt{0,02452^2 + 0,03516^2 + 0,033^2} = 0,0541 \text{ m}$$

Kritická štíhlost:

$$\lambda_y = \frac{l_{cr,y}}{i_y} = \frac{19,375}{0,251} = 76,193$$

$$\lambda_z = \frac{l_{cr,z}}{i_z} = \frac{6,2}{0,0707} = 87,68$$

Kritické síly  $y, z$ :

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 * E * I_y}{l_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 * 210 * 10^9 * 1,71 * 10^{-3}}{19,375^2} = 9639,276 * 10^3 \text{ N}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 * E * I_z}{l_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 * 210 * 10^9 * 1,35 * 10^{-4}}{6,2^2} = 7278,962 \text{ kN}$$

Kritické síly pro prostorový vzpěr:

$$y_0 = 0 \text{ m}$$

$$z_0 = 0,0635 \text{ m}$$

$y_0, z_0$  - souřadnice středu smyku vztahované k těžišti plného průřezu

$$i_0^2 = i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2 = 0,251^2 + 0,0707^2 + 0^2 + 0,0635^2 = 0,269$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} * \left( G * I_t + \frac{\pi^2 * E * I_w}{l_{cr,T}^2} \right) = \frac{1}{0,269^2} * \left( 81 * 10^9 * 6,73 * 10^{-6} + \frac{\pi^2 * 210 * 10^9 * 5,736 * 10^{-39}}{6,2^2} \right) = 7533,0 \text{ kN}$$

$$\beta = 1 - \left( \frac{z_0}{i_0} \right)^2 = 1 - \left( \frac{0,0635}{0,269} \right)^2 = 0,944$$

$$\begin{aligned}
N_{cr,TF} &= \frac{N_{cr,z}}{2 * \beta} \left[ 1 + \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,z}} - \sqrt{\left(1 - \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,z}}\right)^2 + 4 * \left(\frac{z_0}{y_0}\right)^2 * \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,z}}} \right] = \\
&= \frac{7278,962 * 10^3}{2 * 0,944} \\
&* \left[ 1 + \frac{7533 * 10^6}{7278,962 * 10^3} \right. \\
&\quad \left. - \sqrt{\left(1 - \frac{7533 * 10^6}{7278,962 * 10^3}\right)^2 + 4 * \left(\frac{0,0635}{0,0}\right)^2 * \frac{7533 * 10^6}{7278,962 * 10^3}} \right] \\
&= 5987,033 \text{ kN}
\end{aligned}$$

$$N_{cr,T} > N_{cr,TF} \rightarrow 7278,962 \text{ kN} > 5987,033 \text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Poměrné štíhlosti:

$$\lambda_1 = 93,9 * \varepsilon = 93,9 * 0,81 = 76,059$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{76,193}{76,059} = 0,997$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{87,681}{76,059} = 1,147$$

$$\bar{\lambda}_T = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr,TF}}} = \sqrt{\frac{0,027 * 355 * 10^6}{5987,033}} = 1,265$$

$$\begin{aligned}
\phi_y &= 0,5 * [1 + \alpha_1 * (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] \\
&= 0,5 * [1 + 0,21 * (0,997 - 0,2) + 0,997^2] = 1,080
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\phi_z &= 0,5 * [1 + \alpha_1 * (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] \\
&= 0,5 * [1 + 0,21 * (1,147 - 0,2) + 1,147^2] = 1,257
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\phi_T &= 0,5 * [1 + \alpha_1 * (\bar{\lambda}_T - 0,2) + \bar{\lambda}_T^2] \\
&= 0,5 * [1 + 0,21 * (1,265 - 0,2) + 1,265^2] = 1,412
\end{aligned}$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,080 + \sqrt{1,080^2 - 0,997^2}} = 0,667$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1,257 + \sqrt{1,257^2 - 1,147^2}} = 0,564$$

$$\chi_T = \frac{1}{\phi_T + \sqrt{\phi_T^2 - \bar{\lambda}_T^2}} = \frac{1}{1,412 + \sqrt{1,412^2 - 1,265^2}} = 0,356$$

$$\min(\chi_y; \chi_z; \chi_T) = \min(0,667; 0,564; 0,356) = 0,356$$

Únosnost na prostorový vzpěr:

$$N_{b,rd,T} = \frac{\chi_T * A * f_y}{\gamma_{m1}} = \frac{0,356 * 0,027 * 355 * 10^6}{1,00} = 3412,281 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{ed}}{N_{b,rd,T}} < 1,0 \rightarrow \frac{830,99}{3412,281} < 1,0 \rightarrow 0,25 < 1,0 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Smyková únosnost:

$$V_{pl,Rd,z} = \frac{A_z * \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,000135 * \frac{355 * 10^6}{\sqrt{3}}}{1} = 459,354 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{pl,Rd,z}}{2} \geq V_{ed} \rightarrow \frac{459,354}{2} \geq 86,11 \rightarrow 229,677 \text{ kN} \geq 86,11 \text{ kN}$$

$\rightarrow$  Můžeme zanedbat

Únosnost v klopení:

$$C_1=1,13; C_2=0,5; C_3=0,38$$

Bezrozměrný parametr kroucení:

$$k_{wt} = \frac{\pi}{k_w * L_{cr,w}} * \sqrt{\frac{E * I_w}{G * I_t}} = \frac{\pi}{1 * 19,375} * \sqrt{\frac{210 * 10^9 * 1,096 * 10^{-5}}{81 * 10^9 * 6,73 * 10^{-6}}} = 0,333$$

Bezrozměrný parametr působíště zatížení vzhledem ke středu smyku:

$$\xi_g = \frac{\pi * z_g}{k_z * L_{cr,w}} * \sqrt{\frac{E * I_w}{G * I_t}} = \frac{\pi * 0}{1 * 19,375} * \sqrt{\frac{210 * 10^9 * 1,096 * 10^{-5}}{81 * 10^9 * 6,73 * 10^{-6}}} = 0$$

Bezrozměrný parametr nesymetrie průřezu:

$$\xi_j = \frac{\pi * z_j}{k_z * L_{cr,w}} * \sqrt{\frac{E * I_w}{G * I_t}} = \frac{\pi * 0}{1 * 19,375} * \sqrt{\frac{210 * 10^9 * 1,096 * 10^{-5}}{81 * 10^9 * 6,73 * 10^{-6}}} = 0$$

Bezrozměrný kritický moment:

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} * \left[ \sqrt{1 + k_{wt}^2 + (C_2 * \xi_g - C_3 * \xi_j)^2} - (C_2 * \xi_g - C_3 * \xi_j) \right]$$

$$= \frac{1,13}{1} * \left[ \sqrt{1 + 0,333^2 + (0,5 * 0 - 0,38 * 0)^2} - (0,5 * 0 - 0,38 * 0) \right] = 1,49$$

Kritický moment:

$$M_{cr} = \mu_{cr} * \frac{\pi * \sqrt{E * I_z * G * I_t}}{L}$$

$$= 1,19 * \frac{\pi * \sqrt{210 * 10^9 * 1,35 * 10^{-4} * 81 * 10^9 * 6,73 * 10^{-6}}}{19,375}$$

$$= 758,545 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y * f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{5,7 * 10^{-3} * 355 * 10^6}{758,545 * 10^3}} = 1,663$$

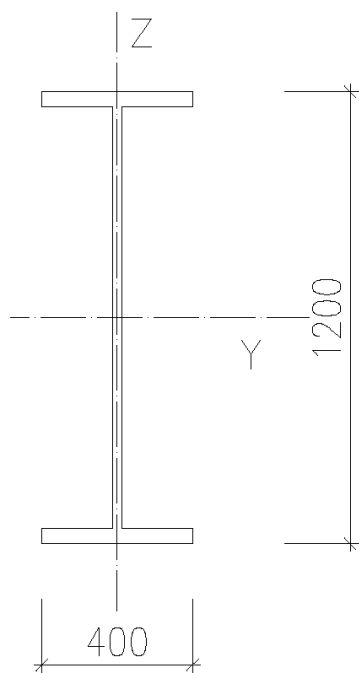
$$\phi_{LT} = 2,036; \chi_{LT} = 0,311$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} * W_y * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,311 * 0,0057 * \frac{355 * 10^6}{1,0} = 629,308 \text{ kNm}$$

Kombinace osového tlaku a ohybu:

$$C_{m,LT}=1,0; w_y = \frac{W_{pl,y}}{W_{pl,z}} = 1,0; w_z = \frac{W_{pl,z}}{W_{pl,y}} = 1,0$$

$$C_{mz} = 1 + 0,3 * \frac{N_{ed}}{N_{cr,z}} = 1 + 0,3 * \frac{830,99}{7278,962} = 1,034$$



$$\mu_y = \frac{1 - \frac{N_{ed}}{N_{cr,y}}}{1 - \chi_y * \frac{N_{ed}}{N_{cr,y}}} = \frac{1 - \frac{830,99}{9639,275}}{1 - 1,080 * \frac{830,99}{9639,275}} = 0,969$$

$$k_{yz} = C_{mz} * \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{ed}}{N_{cr,z}}} * 0,6 \sqrt{\frac{w_z}{w_y}} = 1,034 * \frac{0,969}{1 - \frac{830,99}{728,962}} * 0,6 \sqrt{\frac{1,0}{1,0}} = 0,679$$

$$\frac{\frac{N_{ed}}{\chi_z * N_{Rk,z}}}{\gamma_{M1}} + k_{yz} * \frac{M_{ed}}{M_{pl,y,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{\frac{830,99}{0,564 * 0,027 * 355 * 10^6}}{1,0} + 0,679 * \frac{\frac{107,95}{0,311 * 6,73 * 10^{-3} * 355 * 10^6}}{1,0} \leq 1,0 \rightarrow 0,682 \leq 1,0 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

### 10.3.2 Návrh a posouzení dříku sloupu

Dřík sloupu je navržen ze svařovaného profilu I.

Bude dimenzována na maximální síly:

$$N_{Ed} = -903,91 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 1256,99 \text{ kNm}$$

Svařovaný profil I:

Průřez:	Svařovaný I profil	
h=	1,2	m
b=	0,4	m
t=	0,04	m
A=	0,06	m <sup>2</sup>
A <sub>L</sub> =	3,95	m <sup>2</sup>
I <sub>y</sub> =	0,01698	m <sup>4</sup>
I <sub>z</sub> =	0,000428	m <sup>4</sup>
I <sub>t</sub> =	2,311E-05	m <sup>4</sup>
W <sub>el,y</sub> =	0,02282	m <sup>3</sup>
W <sub>el,z</sub> =	0,00214	m <sup>3</sup>
G=	8,1E+10	
A <sub>y</sub> =	0,003189	m <sup>2</sup>
A <sub>z</sub> =	0,003004	m <sup>2</sup>
I <sub>w</sub> =	0,0001435	m <sup>6</sup>
W <sub>pl,y</sub> =	0,0264	m <sup>3</sup>

Materiál:

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$E = 210 \text{ GPa}$$

Délka dříku je 13,3 m.

Vzpěrné délky:

Vzpěrná délka v rovině vazby:  $L_{cr,y} = \gamma_2 * l_h = 2,51 * 13,3 = 33,383 \text{ m}$

Vzpěrná délka z roviny vazby:  $L_{cr,z} = 1,0 * l_h = 1,0 * 13,3 = 13,3 \text{ m}$

Vzpěrná délka v kroucení:  $L_{cr,T} = 1,0 * l_h = 1,0 * 13,3 = 13,3 \text{ m}$

viz. výpočet špičky sloupu:

Poloměry setrvačnosti:							
i <sub>z</sub> =	0,0845	m	i <sub>y</sub> =	0,5319774	m	i <sub>p</sub> =	0,5424 m
Kritická štíhlost:							
λ <sub>z</sub> =	157,47	<	200	→	Vyhovuje		
λ <sub>y</sub> =	62,753	<	200	→	Vyhovuje		
λ <sub>i</sub> =	76,399						
Kritické síly:							
N <sub>cr,y</sub> =	31580	kN					
N <sub>cr,z</sub> =	5014,9	kN					
Poměrná štíhlost							
λ <sub>z</sub> <sup>-</sup> =	2,0609		Ø <sub>z</sub> =	2,819081	χ <sub>z</sub> =	0,2109	
λ <sub>y</sub> <sup>-</sup> =	0,8213		Ø <sub>y</sub> =	0,902477	χ <sub>y</sub> =	0,7833	
Vzpěrná únosnost:							
N <sub>pl,Rd,z</sub> =	4491,2	kN	0,2012613	<	1	→	Vyhovuje
N <sub>pl,Rd,y</sub> =	16685	kN	0,0541757	<	1	→	Vyhovuje
Kritické síly pro prostorový vzpěr:							
y <sub>0</sub> =	0	m	i <sub>p</sub> =	0,5423703	m	β=	0,9863
z <sub>0</sub> =	0,0274	m	N <sub>cr,T</sub> =	12079,241	kN	N <sub>cr,TF</sub> =	4967,3 kN
λ <sub>T</sub> <sup>-</sup> =	2,0708		Ø <sub>T</sub> =	2,8404464	χ <sub>T</sub> =	0,1763	
Kombinace ohybu a tlaku: 1. a 2. Třída							
C <sub>mLT</sub> =	1,000		C <sub>my</sub> =	1,009			
C <sub>mz</sub> =	1,054		μ <sub>y</sub> =	0,994			
k <sub>yz</sub> =	1,278		k <sub>yy</sub> =	1,032			
Posouzení YZ							
0,171567	<	1	→	Vyhovuje			

## 10.4 Posouzení průhybu

Podle ČSN EN 1993-6 [9] je maximální vodorovný posun sloupu

v úrovni podepření jeřábu -  $\delta_y \leq \frac{h_c}{400}$

$$\delta_y \leq \frac{h_c}{400} \rightarrow 27,4 \text{ mm} \leq \frac{13300}{400} = 33,25 \text{ mm} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Prvek	dx [m]	Stav	ux [mm]	uz [mm]	f <sub>iy</sub> [mrad]	Výslednice [mm]
B39	13,300	K4/4	-0,8	-26,9	3,4	26,9
B39	0,000	K4/3	0,0	0,0	0,0	0,0
B39	13,300	K4/3	-0,7	-27,4	3,5	27,4

Průhyb byl vypočítán pomocí programu Scia Engineer.



# 11.Patka

## 11.1 Vnější zatížení

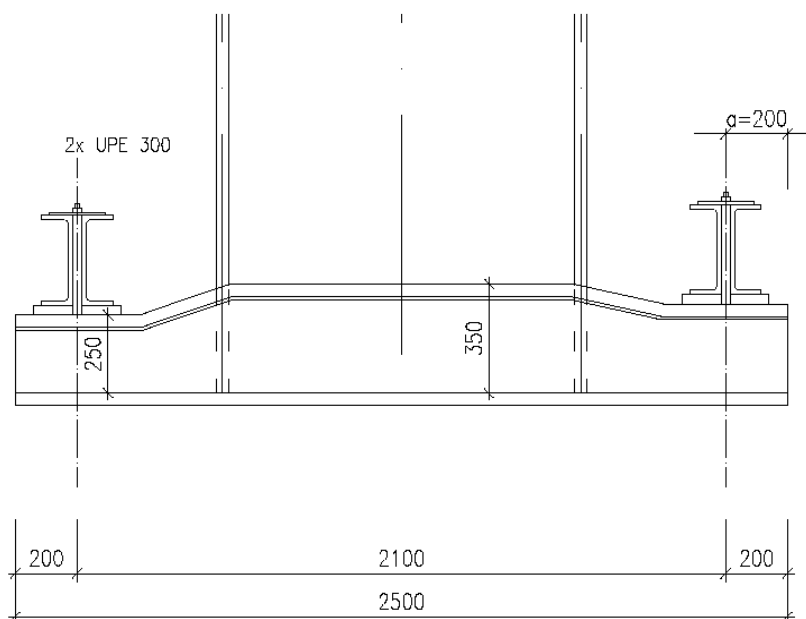
Patka je posuzována na kombinace sil z předchozí kapitoly – sloup.

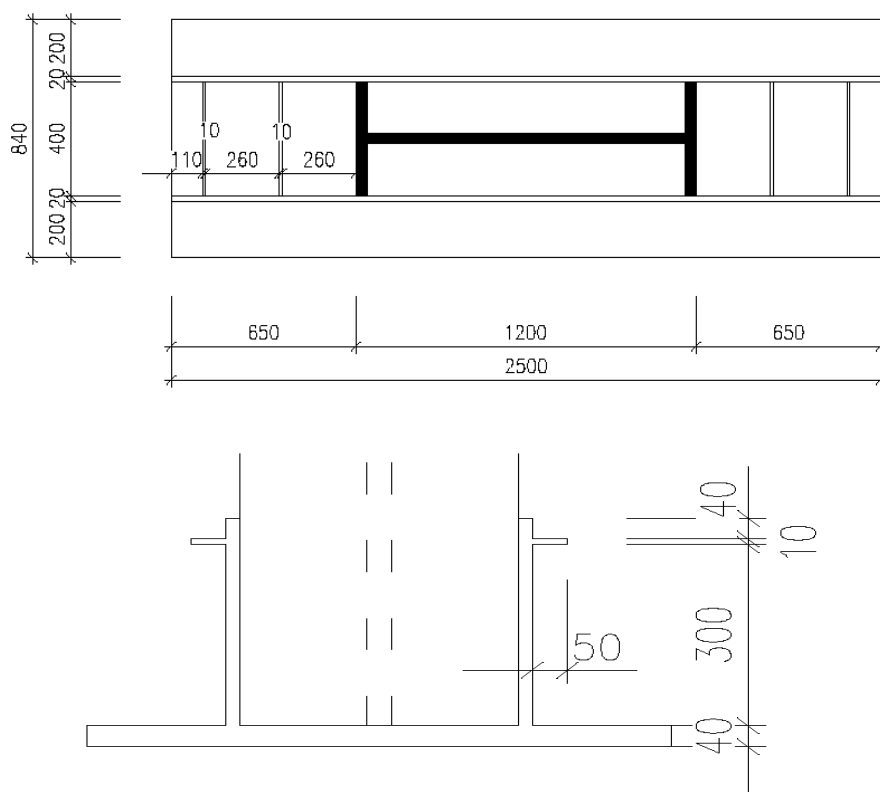
Kombinace						
Pozice		K1	K2	K3	K4	Max. hodnoty
1-1	N	-90,41	-252,47	-172,67	-172,23	-252,47
	V	0,64	1,69	-5,64	-5,83	-5,83
	M	10,9	28,72	30,7	31,31	31,31
2-2	N	-103,3	-265,36	-185,66	-185,62	-265,36
	V	0,68	1,69	-16,31	-16,48	-16,48
	M	14,86	39,19	-49,36	-49,8	-49,8
3-3	N	-830,99	-266,4	-186,6	-434,34	-830,99
	V	-69,13	1,69	-16,31	-86,11	-86,11
	M	-103,3	66,91	107,95	-42,1	107,95
4-4	N	-896,62	-332,06	-252,23	-499,97	-896,62
	V	-69,13	1,69	-16,31	-104,35	-104,35
	M	728,45	46,69	405,51	1048,94	1048,94
5-5	N	-903,91	-339,33	-259,22	-507,26	-903,91
	V	-69,13	1,69	-36,58	-106,38	-106,38
	M	820,2	44,44	452,05	1256,99	1256,99

Síly byly vypočítány pomocí programu Scia Engineer.

## 11.2 Návrh patky

Návrh patky:			
Délka patky:	d=	2,5	m
Šířka patky:	b <sub>p</sub> =	0,84	m
Beton patky:	C16/20	f <sub>ck</sub> :	16 Mpa
		f <sub>cd</sub> :	10,67 Mpa
Vzdálenost kotevních šroubů od okraje patky:	a=	0,2	m





### 11.3 Dimenzování

Výpočty jsou provedeny pomocí programu Excel. V tabulce jsou vypočítané hodnoty.

Byla použita ocel S355

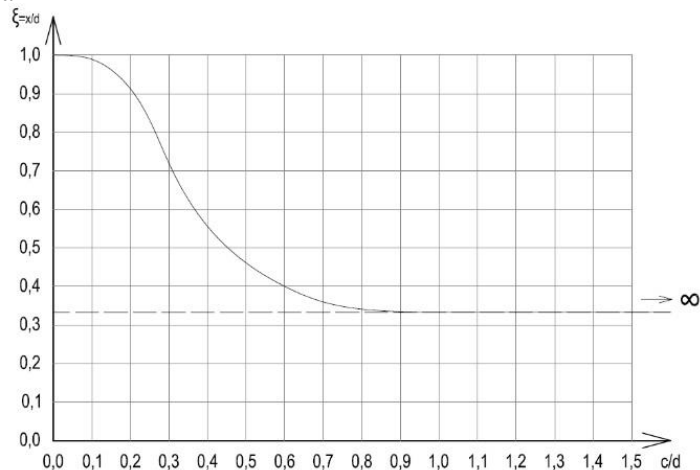
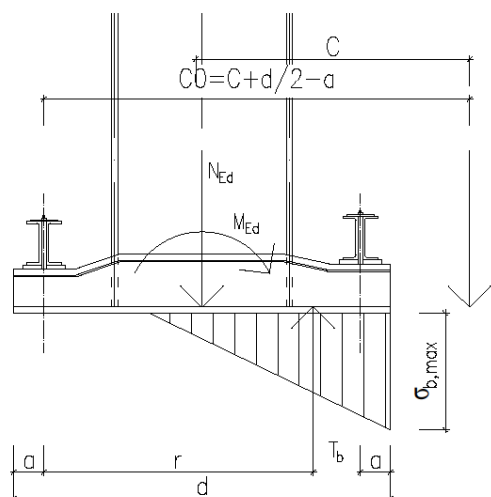
Vzorce:

Excentricita:

$$c = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}}$$

Určení šířky  $x$  náhradního trojúhelníku tlakového napětí v betonu:

$$\frac{c}{d} \Rightarrow \xi = \text{odečteno z Grafu níže.}$$



Graf [Obr. 151 Konstrukce průmyslových budov,  
Doc. Ing. Jindřich Melcher, CSc., Ing. Bohumil Straka, Praha 1985]

Délka tlačené oblasti betonu:

$$x = \xi * d =$$

Vzdálenost výslednice  $T_b$  od tažených šroubů:

$$r = d - a - \frac{x}{3} =$$

Výslednice tlakového napětí v betonu:

$$T_b = \frac{N_{Ed} * (c + \frac{d}{2} - a)}{r} =$$

Tahová síla na kotevní šrouby:

$$Z = T_b - N_{Ed} =$$

Tahová síla na jeden šroub:

$$F_{T,Ed} = \frac{1}{n} * Z * 1,2 =$$

Účinky kombinací					
Kombinace		K1	K2	K3	K4
	$N_{ED}$ [kN]	903,91	339,33	259,22	507,26
	$M_{ED}$ [kNm]	820,2	44,44	452,05	1256,99
C=	[m]	0,907	7,636	0,573	0,404
c/d		0,395	3,320	0,249	0,175
$\xi$ = odvozeno z grafu		0,333	0,333	0,333	0,333
x=	[m]	0,766	0,766	0,766	0,766
r=	[m]	1,845	1,845	1,845	1,845
$T_b$ =	[kN]	910,129	1579,325	214,075	372,203
Z=	[kN]	6,219	1239,995	-45,145	-135,057
Počet šroubů na každé straně:				n=	2
$F_{t,Ed}$ =	[kN]	3,731	743,997	-27,087	-81,034

Posouzení betonu:

$$\sigma_{b,Max} = \frac{2 * T_b}{x * b_p} =$$

Posouzení betonu:					
Kombinace		K1	K2	K3	K4
$\sigma_{b,Max}$ =	[Mpa]	2,829	4,910	0,665	1,157
Posouzení:		4,910	<	10,67	Vyhovuje

Rozhodující je kombinace K2.

Kotevní šrouby:

Návrh kotevních šroubů – zabetonované šrouby s kotevní hlavou.

Šroub S450, M56x4

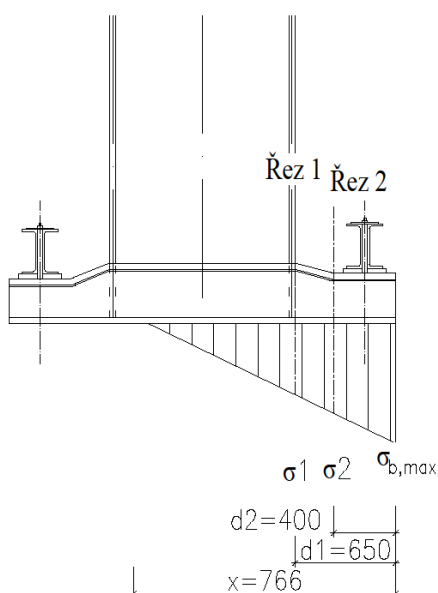
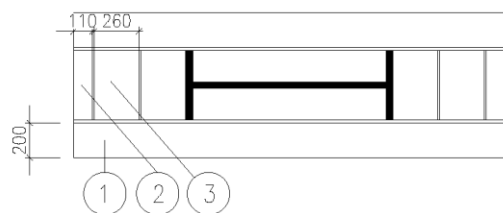
Únosnost šroubu při přetržení:

$$A_s = 2144mm^2$$

$$F_{T,Rd} = \frac{A_s * f_y}{\gamma_{M2}} = \frac{2,144 * 10^{-3} * 440 * 10^6}{1,25} = 754,688kN$$

Posouzení:

$$\frac{F_{T,Ed}}{F_{T,Rd}} = \frac{743,997}{754,688} = 0,975 < 1,0 \rightarrow Vyhovuje$$



Tloušťka patního plechu:

Oblast 1:

Minimální tloušťka patního plechu:

$$d_{p1} = 1,73 * e * \sqrt{\frac{\sigma_{b,Max}}{\frac{f_y}{\gamma_{M0}}}} = 1,73 * 0,2 * \sqrt{\frac{4,91 * 10^6}{\frac{355 * 10^6}{1,0}}} = 0,040m$$

Oblast 2:

Minimální tloušťka patního plechu:

$$d_{p2} = 1,73 * e * \sqrt{\frac{\sigma_{b,Max}}{\frac{f_y}{\gamma_{M0}}}} = 1,73 * 0,11 * \sqrt{\frac{4,91 * 10^6}{\frac{355 * 10^6}{1,0}}} = 0,022m$$

Minimální tloušťka patního plechu:

$$d_{p2} = \alpha_3 * e * \sqrt{\frac{\sigma_{b,Max}}{\frac{f_y}{\gamma_{M0}}}} = 0,737 * 0,26 * \sqrt{\frac{4,91 * 10^6}{\frac{355 * 10^6}{1,0}}} = 0,022m$$

$$\alpha_3 = 0,737$$

Tloušťka patního plechu je dána  $d_p$ :

$$d_p = \max(d_{p1}; d_{p2}; d_{p3}) = \max(40; 22; 22) = 40mm$$

Posouzení průřezu patky:

Řez 1:

$$\sigma_{b,Max} = 4,91MPa$$

Napětí v řezu 1:

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_{b,Max} + (x - d_1)}{x} = \frac{4,91 * 10^6 + (0,766 - 0,650)}{0,766} = 0,743MPa$$

Vnitřní síly od tlaku betonu:

$$M_b = \frac{\sigma_0 + \sigma_1}{2} * d_1 * \frac{d_1}{2} * b_p = \frac{4,91 + 0,743}{2} * 0,65 * \frac{0,65}{2} * 0,84 = 501,562 kNm$$

$$V_b = \frac{\sigma_0 + \sigma_1}{2} * d_1 * b_p = \frac{4,91 + 0,743}{2} * 0,766 * 0,84 = 1543,269kN$$

Vnitřní síly od tahu kotevních šroubů:

$$r_1 = 0,45 m$$

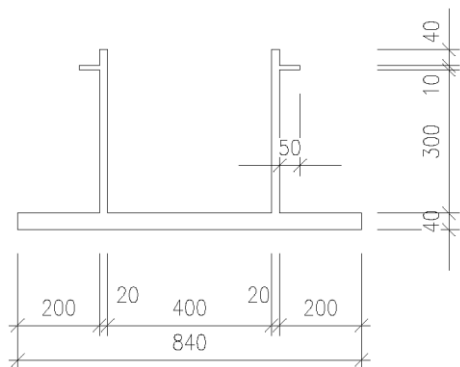
$$M_Z = Z * r_1 = 1239,995 * 0,45 = 557,998 kNm$$

$$V_Z = Z = 1239,995 kN$$

Maximální síly:

$$M_{Max} = \max(M_b; M_Z) = \max(501,562; 557,998) = 557,998 kNm$$

$$V_{Max} = \max(V_b; V_Z) = \max(1543,269; 1239,995) = 1543,269 kN$$



Průřez patky v řezu 1:

Řez 1		
A=	0,05	m <sup>2</sup>
I <sub>y</sub> =	0,000531	m <sup>4</sup>
I <sub>z</sub> =	0,003203	m <sup>4</sup>
W <sub>yh</sub> =	0,001685	m <sup>3</sup>
W <sub>yd</sub> =	0,00708	m <sup>3</sup>

Napětí:

$$\sigma_h = \frac{M_{Max}}{W_{yh}} = \frac{557,998 * 10^3}{0,001685} = 331,156 \text{ MPa} < 355 \text{ MPa} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

$$\sigma_h = \frac{M_{Max}}{W_{yd}} = \frac{557,998 * 10^3}{0,007080} = 78,813 \text{ MPa} < 355 \text{ MPa} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Plocha průřezu vzdorující smyku:

$$A_v = 2 * 0,35 * 0,02 = 0,014 \text{ m}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v * f_y}{\gamma_M * \sqrt{3}} = \frac{0,014 * 355 * 10^6}{1,0 * \sqrt{3}} = 2869,436 \text{ kN} > 1840,334 \text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Řez 2:

$$\sigma_{b,Max} = 4,91 \text{ MPa}$$

Napětí v řezu 2:

$$\sigma_2 = \frac{\sigma_{b,Max} + (x - d_2)}{x} = \frac{4,91 * 10^6 + (0,766 - 0,400)}{0,766} = 0,234 \text{ MPa}$$

Vnitřní síly od tlaku betonu:

$$M_b = \frac{\sigma_0 + \sigma_2}{2} * d_2 * \frac{d_2}{2} * b_p = \frac{4,91 + 0,243}{2} * 0,4 * \frac{0,4}{2} * 0,84 = 173,140 \text{ kNm}$$

$$V_b = \frac{\sigma_0 + \sigma_2}{2} * d_2 * b_p = \frac{4,91 + 0,234}{2} * 0,4 * 0,84 = 865,804 \text{ kN}$$

Vnitřní síly od tahu kotevních šroubů:

$$r_2 = 0,2 \text{ m}$$

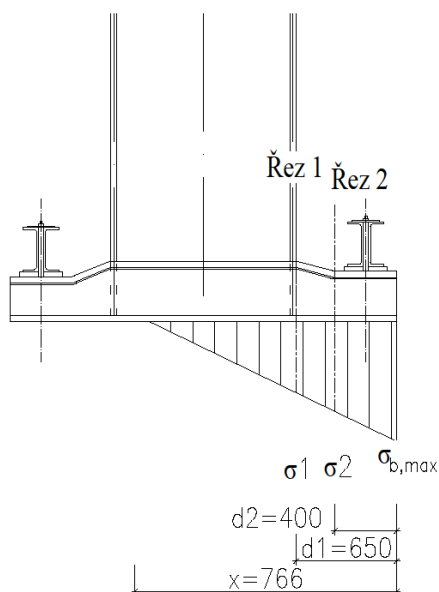
$$M_Z = Z * r_2 = 1239,995 * 0,2 = 247,999 \text{ kNm}$$

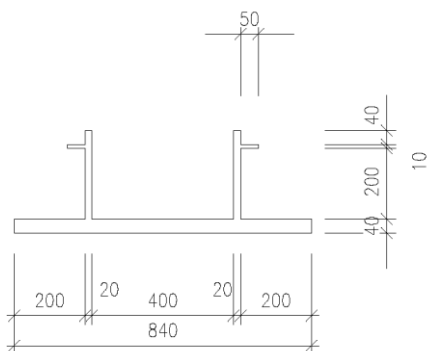
$$V_Z = Z = 1239,995 \text{ kN}$$

Maximální síly:

$$M_{Max} = \max(M_b; M_Z) = \max(173,14; 247,999) = 247,999 \text{ kNm}$$

$$V_{Max} = \max(V_b; V_Z) = \max(865,804; 1239,995) = 1239,995 \text{ kN}$$





Průřez patky v řezu 2:

Řez 2		
A=	0,046	m <sup>2</sup>
I <sub>y</sub> =	0,0002214	m <sup>4</sup>
I <sub>z</sub> =	0,002982	m <sup>4</sup>
W <sub>yh</sub> =	0,0009302	m <sup>3</sup>
W <sub>yd</sub> =	0,004257	m <sup>3</sup>

Napětí:

$$\sigma_h = \frac{M_{Max}}{W_{yh}} = \frac{247,999 \cdot 10^3}{0,0009302} = 266,608 \text{ MPa} < 355 \text{ MPa} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

$$\sigma_h = \frac{M_{Max}}{W_{yd}} = \frac{247,999 \cdot 10^3}{0,004257} = 58,256 \text{ MPa} < 355 \text{ MPa} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Plocha průřezu vzdorující smyku:

$$A_v = 2 \cdot 0,25 \cdot 0,02 = 0,01 \text{ m}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\gamma_M \cdot \sqrt{3}} = \frac{0,01 \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0 \cdot \sqrt{3}} = 2049,593 \text{ kN} > 1239,995 \text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Kotevní příčník:

Příčník je navržen z dvojice profilů U 260.

$$\frac{Z}{2} = \frac{1239,995}{2} = 619,9975 \text{ kN}$$

Kotevní příčník		
W <sub>y</sub> =	0,00884	m <sup>3</sup>
A <sub>v</sub> =	0,004912	m <sup>2</sup>

Vnitřní síly:

$$M_y = 216,992 \text{ kNm}$$

$$V_z = 619,998 \text{ kN}$$

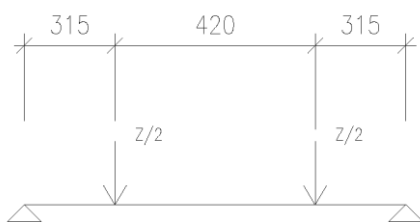
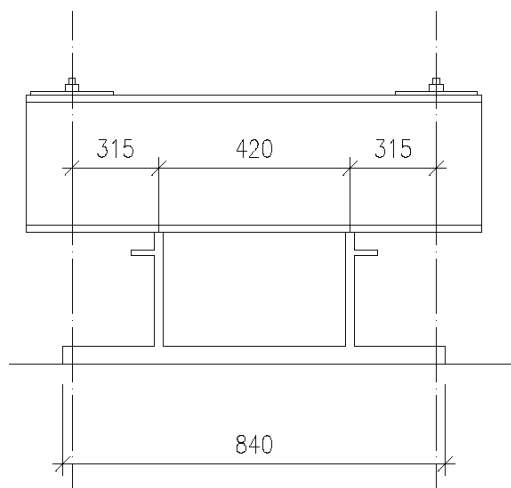
Síly byly vypočítány pomocí programu Scia Engineer.

Posouzení:

$$\sigma = \frac{M_y}{W_y} = \frac{216992}{0,00884} = 245,466 \text{ MPa}$$

$$\tau = \frac{V_z}{A_v} = \frac{619998}{0,004912} = 126,221 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2} = \sqrt{245,466^2 + 3 \cdot 126,221^2} = 328,707 \text{ MPa} < 355 \text{ MPa} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$



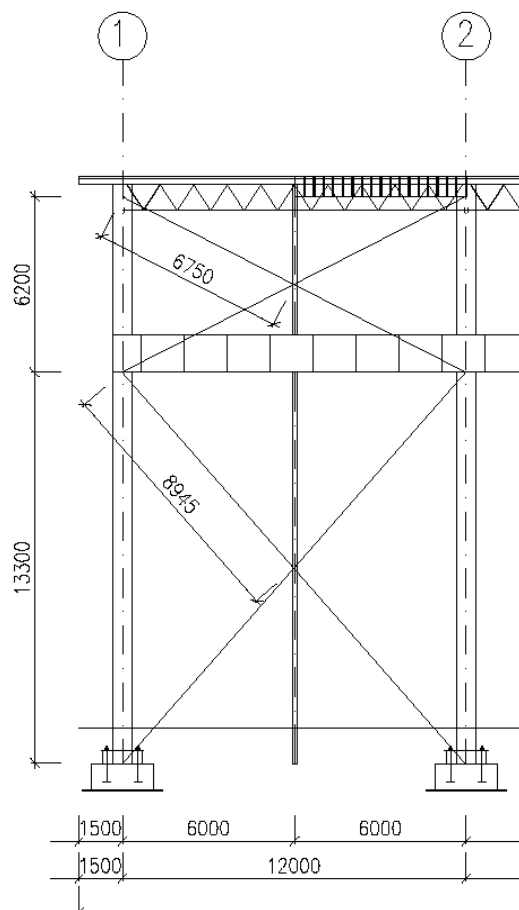
## 12. Stěnové ztužidlo

Příhradové stěnové ztužidlo o rozpětí 12m.

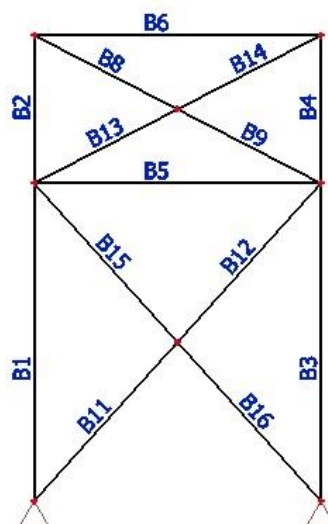
Vzpěrná délka je díky mezisloupkům zkrácena na polovinu.

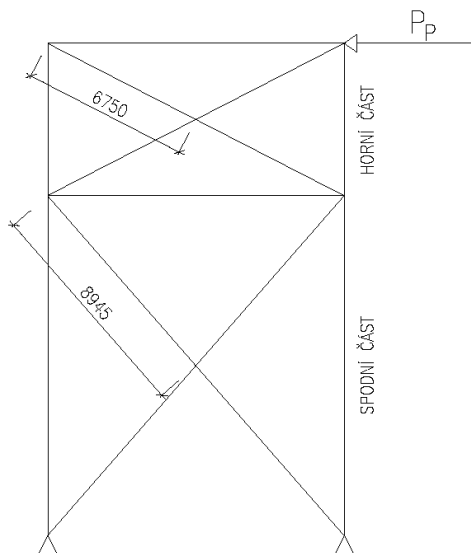
Uvažuji pouze pro tahová namáhání.

### 12.1 Geometrie



Označení prvků:





## 12.2 Zatížení

Stěnové ztužidlo je zatíženo reakcí od ztužidla příčného.  $P_p = 71,74 \text{ kN}$   
Síla byla vypočítána pomocí programu Scia Engineer.

## 12.3 Dimenzování

### 12.3.1 Horní část stěnového ztužidla

Diagonála stěnového ztužidla je navržena jako profil T100, kritická délka  $l_{cr} = 6,75 \text{ m}$ , pro síly:  $N_{ed} = 40,4 \text{ kN}$ . S omezením kritické štíhlosti  $< 350$ . Uvažuji pouze tahová namáhání.

Prvek	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vz [kN]	My [kNm]
B8	CS6 - T120	0,000	ZS12	<b>40,32</b>	<b>0,01</b>	-0,02
B8	CS6 - T120	6,754	ZS12	<b>40,32</b>	0,01	<b>0,03</b>
B9	CS6 - T120	0,000	ZS12	<b>40,38</b>	-0,02	<b>0,06</b>
B9	CS6 - T120	6,754	ZS12	<b>40,38</b>	-0,02	-0,04
B13	CS6 - T120	0,000	ZS12	<b>-40,34</b>	0,03	<b>-0,10</b>
B13	CS6 - T120	6,754	ZS12	-40,34	0,03	<b>0,08</b>
B14	CS6 - T120	0,000	ZS12	<b>-40,40</b>	<b>-0,01</b>	0,05

Vnitřní síly byly vypočítány pomocí programu Scia Engineer.

Průřez:	T100	
h=	0,1	m
b=	0,1	m
t=	0,011	m
A=	0,00209	m <sup>2</sup>
A <sub>L</sub> =	0,383	m <sup>2</sup>
I <sub>y</sub> =	1,79E-06	m <sup>4</sup>
I <sub>z</sub> =	8,83E-07	m <sup>4</sup>
I <sub>t</sub> =	9,22E-08	m <sup>4</sup>
W <sub>el,y</sub> =	0,0000246	m <sup>3</sup>
W <sub>el,z</sub> =	0,0000177	m <sup>3</sup>
G=	8,1E+10	

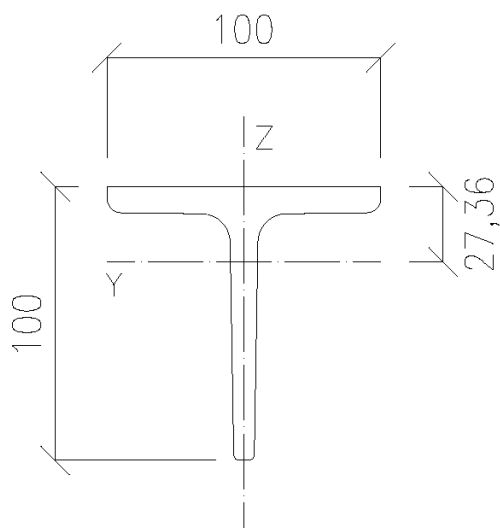
Materiál:

$$f_y = 235 \text{ MPa}$$

$$E = 210 \text{ GPa}$$

Zatřídění průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,00$$





$$\frac{c}{t} < 9 * \varepsilon \rightarrow \frac{107}{13} < 9 * 1,00 \rightarrow 8,31 < 9,00 \rightarrow 1. \text{ Třída}$$

Součinitel  $\alpha = 0,49$ , podle křivky  $c$

Poloměry setrvačnosti:

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{0,883 * 10^{-6}}{2,09 * 10^{-3}}} = 0,02055 \text{ m}$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{1,79 * 10^{-6}}{2,09 * 10^{-3}}} = 0,02927 \text{ m}$$

$$i_p = \sqrt{i_z^2 + i_y^2 + t^2} = \sqrt{0,02055^2 + 0,02927^2 + 0,033^2} = 0,0467 \text{ m}$$

Kritická štíhlost:

$$\lambda_y = \frac{l_{cr,y}}{i_y} = \frac{6,75}{0,02927} = 230,648 < 350 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

$$\lambda_z = \frac{l_{cr,z}}{i_z} = \frac{6,75}{0,02055} = 328,395 < 350 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

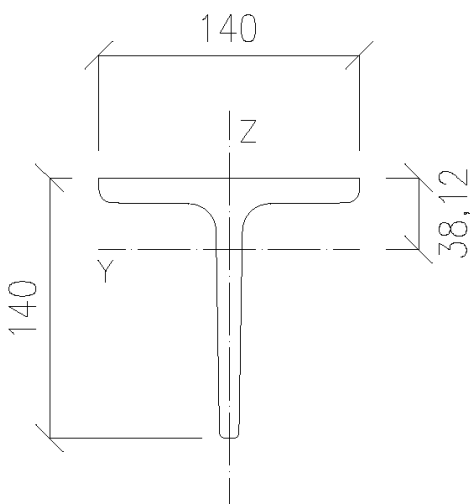
Tahová únosnost:

$$N_{rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2,09 * 10^{-3} * 235 * 10^6}{1,0} = 491,15 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{ed}}{N_{rd}} \leq 1,0 \rightarrow \frac{40,4}{491,15} \leq 1,0 \rightarrow 0,082 \leq 1,0 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

### 12.3.2 Spodní část stěnového ztužidla

Diagonála stěnového ztužidla je navržena jako profil T140, kritická délka  $l_{cr} = 8,945 \text{ m}$ , pro síly:  $N_{ed} = 107,08 \text{ kN}$ . S omezením kritické štíhlosti  $< 350$ . Uvažují pouze tahová namáhání.



Prvek	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vz [kN]	My [kNm]
B11	CS6 - T120	0,000	ZS12	<b>-107,08</b>	<b>-0,01</b>	0,00
B11	CS6 - T120	8,957	ZS12	<b>-107,08</b>	-0,01	<b>-0,09</b>
B12	CS6 - T120	0,000	ZS12	<b>-107,03</b>	0,01	<b>-0,02</b>
B12	CS6 - T120	8,957	ZS12	-107,03	0,01	<b>0,05</b>
B15	CS6 - T120	0,000	ZS12	<b>0,04</b>	-0,02	0,09
B15	CS6 - T120	8,957	ZS12	0,04	-0,02	<b>-0,12</b>
B16	CS6 - T120	0,000	ZS12	<b>0,03</b>	0,03	<b>-0,18</b>
B16	CS6 - T120	8,957	ZS12	0,03	0,03	<b>0,07</b>

Průřez:	T 140	
h=	0,14	m
b=	0,14	m
t=	0,015	m
A=	0,003985	m <sup>2</sup>
A <sub>L</sub> =	0,5315	m <sup>2</sup>
I <sub>y</sub> =	6,68E-06	m <sup>4</sup>
I <sub>z</sub> =	3,29E-06	m <sup>4</sup>
W <sub>el,y</sub> =	0,0000175	m <sup>3</sup>
W <sub>el,z</sub> =	0,0000297	m <sup>3</sup>
G=	8,1E+10	

Materiál:

$$f_y = 235 \text{ MPa}$$

$$E = 210 \text{ GPa}$$

Zatřídění průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,00$$

$$\frac{c}{t} < 9 * \varepsilon \rightarrow \frac{125}{13} < 9 * 1,00 \rightarrow 8,33 < 9,00 \rightarrow 1. \text{ Třída}$$

Součinitel  $\alpha = 0,49$ , podle křivky  $c$

Poloměry setrvačnosti:

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{3,29 * 10^{-6}}{3,985 * 10^{-3}}} = 0,02873 \text{ m}$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{6,68 * 10^{-6}}{3,985 * 10^{-3}}} = 0,04094 \text{ m}$$

Kritická štíhlost:

$$\lambda_y = \frac{l_{cr,y}}{i_y} = \frac{8,945}{0,04094} = 218,477 < 350 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

$$\lambda_z = \frac{l_{cr,z}}{i_z} = \frac{8,945}{0,02873} = 311,312 < 350 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Tahová únosnost:

$$N_{rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3,985 * 10^{-3} * 235 * 10^6}{1,0} = 936,475 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{ed}}{N_{rd}} \leq 1,0 \rightarrow \frac{107,8}{936,475} \leq 1,0 \rightarrow 0,115 \leq 1,0 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

## 13. Seznam literatury

1. ČSN EN 1990 Zásady navrhování
2. ČSN EN 1991 – 1 – 1
3. ČSN EN 1991 – 1 – 3
4. ČSN EN 1991 – 1 – 4
5. ČSN EN 1993 – 1 – 1
6. ČSN EN 1993 – 1 – 3
7. ČSN EN 1993 – 1 – 8
8. ČSN 73 1401 Navrhování ocelových konstrukcí
9. ČSN EN 1993-6 Jeřábové dráhy
10. ČSN EN 1991-3 Zatížení od jeřábů a strojního vybavení
11. Konstrukce průmyslových budov, Doc. Ing. Jindřich Melcher, CSc., Ing. Bohumil Straka, Praha 1977
12. Mapa zatížení sněhem na zemi. ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV. Sněhová mapa [online]. 2010, 31.12.2010 [cit. 2011-12-31]. Dostupné z WWW: <http://www.snehovamapa.cz>
13. Staticstools.eu. Ocelářské tabulky [online]. 2017 [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: <http://staticstools.eu/cs>
14. PILGR, Milan. *Kovové konstrukce: výpočet jeřábové dráhy pro mostové jeřáby podle ČSN EN 1991-3 a ČSN EN 1993-6*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2012.
15. Kingspan.cz. Střešní izolační panel KS1000 RW [online] 2017 [cit. 2017-04-10]. Dostupné z: <https://www.kingspan.com/cz/cs-cz>

## 14. Seznam příloh

1. Technická zpráva
2. Výkresová část
  - 2.1. Půdorys střech
  - 2.2. Příčný řez A-A'
  - 2.3. Podélný řez B-B'
  - 2.4. Podélný pohled
  - 2.5. Příčný pohled
  - 2.6. Výrobní výkres jeřábové dráhy
3. Orientační výkaz spotřeby materiálů